

2016

# PROPUESTA DE ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO PARA SISTEMAS DE AIRE ACONDICIONADO DE ALTA CRITICIDAD MEDIANTE APLICACIÓN DE METODOLOGÍA RCM EN EL MARCO DE UNA POLÍTICA DE CONFIABILIDAD OPERACIONAL

RAFFO BOYE, JUAN PABLO

---

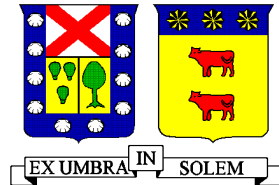
<http://hdl.handle.net/11673/22114>

*Repositorio Digital USM, UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA*

UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA

DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS

SANTIAGO – CHILE



PROPUESTA DE ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO PARA SISTEMAS DE AIRE  
ACONDICIONADO DE ALTA CRITICIDAD, MEDIANTE APLICACIÓN DE  
METODOLOGÍA RCM EN EL MARCO DE UNA POLÍTICA DE CONFIABILIDAD  
OPERACIONAL

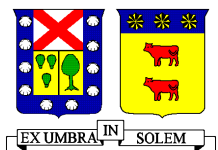
JUAN PABLO RAFFO BOYE

Memoria para optar al Título de  
Ingeniero Civil Industrial

Profesor Guía

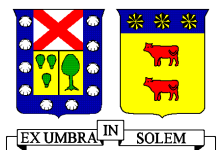
Raúl Stegmaier

Agosto de 2016



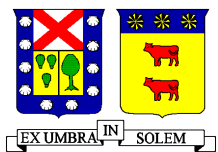
## AGRADECIMIENTOS

Agradezco en primera instancia a Dios por el sólo hecho de estar vivo, permitirme ser feliz e intentar ser mejor cada día. En segunda instancia agradezco a mis padres por el amor que siempre me han brindado y por proporcionarme las herramientas necesarias para crecer y desarrollarme como persona. También quiero agradecer a todas las personas que me han acompañado en este proceso de estudio, especialmente a mis amigos, familiares, profesores, compañeros de ICIPEV, guardias, tía del carrito y auxiliares.



## DEDICATORIA

Esta memoria quiero dedicarla a mi querida tía Anita Paulina Salinas, a quién le deseo toda la felicidad del mundo y le dedico mi más profundo apoyo y cariño. Siempre estaré agradecido por su cercanía y amistad y por compartir conmigo sus enseñanzas acerca de Dios.



## RESUMEN

Esta propuesta fue desarrollada para una importante empresa dedicada a la industria del facility management, la cual presta servicios de limpieza y mantenimiento para una destacada aerolínea internacional. Dentro de los servicios prestados, la empresa de facility se encarga de la operación y mantenimiento de los sistemas de aire acondicionado de los simuladores de vuelo A320-1, A320-2 y B787, los cuales, si bien se encuentran dentro de las instalaciones de la aerolínea, pertenecen a una tercera empresa especializada en brindar servicios de capacitación y simulación a diversas compañías aéreas.

La idea de este trabajo surge a raíz del riesgo detectado para los intereses de negocio de las tres empresas mencionadas (empresa de facility, aerolínea y empresa especialista), puesto que estas no contaban con una estrategia de mantenimiento para los sistemas de aire acondicionado de los simuladores de vuelo, siendo estos sistemas considerados de alta criticidad, debido a que su falla puede ocasionar la detención de los simuladores, generando costos de ineficiencia para la empresa especialista, costos de reparación para la aerolínea y costos ocultos para la empresa de facility por baja calidad de servicio. Esta situación ya había quedado de manifiesto en el pasado, cuando por causa de fallas en los sistemas de aire acondicionado se generaron costos de ineficiencia para la empresa especialista por \$9,6 millones (en el año 2011) y \$7,6 millones (en el año 2012) y costos de reparación para la aerolínea por \$6,3 millones (en el año 2011) y \$11,8 millones (en el año 2012).

Para solucionar el problema expuesto, se propuso desarrollar una estrategia de mantenimiento para los sistemas de aire acondicionado mencionados, mediante la aplicación de una metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM), enmarcada, a su vez, en una política de confiabilidad operacional, es decir, enfocada en aumentar las capacidades de las empresas mencionadas para cumplir con sus objetivos de negocio.

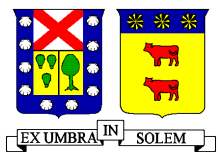
Los resultados obtenidos, luego del desarrollo del trabajo, consistieron en una serie de tareas preventivas y correctivas para cada tipo de equipo (chiller, equipos compactos, equipos de precisión, torres de enfriamiento y unidades manejadoras de aire), un stock de materiales y herramientas para la correcta implementación de las tareas propuestas, una propuesta de cambios de diseño ordenados según su prioridad y una propuesta de gestión de mantenimiento para asegurar la mejora continua.

La propuesta incluyó un análisis de costos globales con un horizonte de evaluación a 10 años y una tasa de interés del 9,22% (calculada mediante el método CAPM). Para realizar esta evaluación se agruparon los resultados de la propuesta en 4 alternativas de inversión.

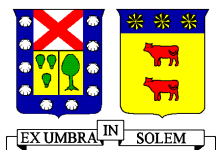
En la Tabla 1 se muestran los resultados del análisis de costos globales para las distintas alternativas de inversión.

| Alternativas | Descripción  | Inversión        | Costo Ineficiencia Anual | Costo Reparación Anual | Costo Global      |
|--------------|--|------------------|--------------------------|------------------------|-------------------|
| 1            | <ul style="list-style-type: none"> <li>Implementar tareas de mantenimiento.</li> <li>Reemplazar serpentín evaporador de compacto Morrison A320-1.</li> <li>Homologar eléctricamente compacto Morrison A320-1.</li> </ul>                     | \$ 2,6 millones  | \$ 10,6 millones         | \$ 6,5 millones        | \$ 124,2 millones |
| 2            | <ul style="list-style-type: none"> <li>Mismas de alternativa 1 más:</li> <li>Instalar puertas aislantes en bahías de simuladores A320-1 y A320-2.</li> <li>Analizar dureza de aguas y cambiar cañerías de torres de enfriamiento.</li> </ul> | \$ 20,2 millones | \$ 1,3 millones          | \$ 0,3 millones        | \$ 43,5 millones  |
| 3            | <ul style="list-style-type: none"> <li>Mismas de alternativa 2 más:</li> <li>Implementar control centralizado básico.</li> </ul>   | \$ 26,1 millones | \$ 0,2 millones          | \$ 0,3 millones        | \$ 42,6 millones  |
| 4            | <ul style="list-style-type: none"> <li>Mismas de alternativa 2 más:</li> <li>Instalar equipo de back up (respaldo) para compacto Morrison A320-2.</li> </ul>   | \$ 24,1 millones | \$ 1,2 millones          | \$ 0,3 millones        | \$ 46,8 millones  |

Tabla 1: Resumen de resultados de costos globales de la propuesta.



De la Tabla 1 se observa que la alternativa 3 es la que proyecta menor costo global en el horizonte de evaluación a 10 años, con un costo de \$42,6 millones, incluyendo la inversión requerida de \$26,1 millones. Esta alternativa contempla la implementación de las tareas de mantenimiento propuestas más los 5 cambios de diseño considerados más urgentes (cambio de serpentín evaporador y homologación de compacto Morrison A320-1, instalación de puertas aislantes en bahías A320-1 y A320-2, análisis de dureza de aguas y cambio de cañerías de torres de enfriamiento e instalación de control centralizado básico).



## GLOSARIO

**1. Cambio de especificaciones o cambio de diseño:** Cualquier acción tomada para cambiar la configuración física de un activo o sistema (modificación), para cambiar el contexto operativo del activo o sistema, para cambiar el método usado por el operador o persona de mantenimiento para hacer una tarea, o para cambiar la capacidad de un operador o persona de mantenimiento (capacitación).

**2. Capacidad inicial:** El nivel de funcionamiento al que un activo o sistema es capaz de trabajar en el momento en que entra en servicio.

**3. Competitividad:** Habilidad de vender, producir, satisfacer al cliente y adaptarse de manera sustentable en el tiempo gracias a la generación de ventajas competitivas que permitan competir y ser más eficiente, eficaz, efectivo e innovador que los competidores nacionales e internacionales maximizando el valor económico de la empresa.

**4. Confiabilidad:** Es la probabilidad de que un elemento funcione, sin fallar, durante un tiempo determinado bajo condiciones ambientales y de entorno preestablecidas.

**5. Confiabilidad operacional:** Es la capacidad de la empresa, a través de los procesos, las tecnologías y las personas, para cumplir con su propósito dentro de los límites del diseño y de las condiciones operacionales.

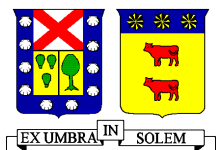
**6. Configuración en serie:** Es aquella configuración de sistema, donde la falla de uno de sus elementos (considerado como un evento independiente), determina la falla del sistema en su conjunto, es decir la falla de un elemento provoca la falla de todo el sistema.

**7. Configuración en stand-by:** Es aquella configuración de sistema donde, durante un instante determinado, funciona sólo uno de los elementos del sistema, quedando los restantes en reserva.

**8. Configuración redundancia parcial:** Es aquella configuración de sistema en la que un grupo de elementos es capaz de soportar el buen funcionamiento del sistema.

**9. Configuración redundancia total:** Es aquella configuración de sistema en la que un elemento, por sí solo, es capaz de soportar el buen funcionamiento del sistema.





**10. Consecuencias de falla:** La forma (o formas) en la cual tiene importancia un modo de falla o una falla múltiple.

**11. Consecuencias en la seguridad:** Un modo de falla o falla múltiple tendrá consecuencias en la seguridad si puede dañar o matar a un ser humano.

**12. Consecuencias medioambientales:** Un modo de falla o falla múltiple tendrá consecuencias medioambientales si puede quebrantar un estándar o regulación medioambiental corporativa, municipal, regional, nacional o internacional que se aplique al activo físico o sistema en consideración.

**13. Consecuencias no operacionales:** Un modo de falla tendrá consecuencias no operacionales cuando no sea oculto, no tenga consecuencias de seguridad, medioambiente ni operación, pero necesite ser reparado.

**14. Consecuencias operacionales:** Un modo de falla tendrá consecuencias operacionales cuando pueda afectar de manera adversa la capacidad operacional de un activo físico o sistema.

**15. Contexto operacional:** Las circunstancias bajo las cuales se espera que opere el activo físico o sistema.

**16. Costo de capital fijo (o de inversión):** Es el costo de los equipos e instalaciones asociados al proyecto. También incluye al capital de trabajo requerido para la operación.

**17. Costos globales:** Cuantificación de todos los costos incurridos en el ciclo de un proyecto o instalación. Estos costos incluyen costos de capital fijo, costos operacionales y costos de ineficiencia.

**18. Costos de ineficiencia:** Corresponden a los costos asociados a la indisponibilidad de la instalación durante el período de evaluación.

**19. Costos operacionales:** Corresponden a la cuantificación de todos aquellos costos propios de la operación de un sistema, tales como: insumos, energía, repuestos, etcétera.

**20. Desempeño deseado:** El nivel de desempeño deseado por el dueño o usuario de un activo físico o sistema.

**21. Disponibilidad:** Es la razón (o cociente) entre el tiempo en cual un sistema está realmente disponible para funcionar y el tiempo total, que incluye al tiempo anterior más el tiempo de reparación.

**22. Disponibilidad esperada:** Es un indicador que refleja, después de muchos ciclos de operación y reparación de un elemento, el valor más probable de disponibilidad para un tiempo determinado.

**23. Efecto de la falla:** Indica qué sucede cuando ocurre un modo de falla.

**24. Falla funcional:** Un estado en el que un activo físico o sistema no se encuentra disponible para ejercer una función específica a un nivel de desempeño deseado.

**25. Falla múltiple:** Un evento que ocurre si una función protegida falla mientras su dispositivo de protección se encuentra en estado de falla.

**26. Falla oculta:** Un modo de falla cuyo efecto no es evidente para el personal de operaciones bajo circunstancias normales, si el modo de falla ocurre aislado.

**27. Falla potencial:** Una condición identificable que indica que una falla funcional está a punto de ocurrir o está en proceso de ocurrir.

**28. Frecuencia de falla:** Es la frecuencia estimada (veces/por período de tiempo), según juicio experto, para un modo de falla en particular.

**29. Función:** Aquello que el propietario o usuario, quiere que el activo físico realice.

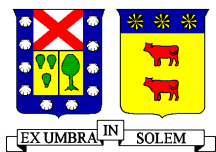
**30. Funcionamiento deseado:** El nivel aceptable de funcionamiento para el propietario o usuario del activo físico o sistema.

**31. Función evidente:** Una función cuya falla aislada se vuelve evidente al personal de operaciones bajo circunstancias normales.

**32. Función oculta:** Una función cuya falla aislada no se vuelve evidente al personal de operaciones bajo circunstancias normales.

**33. Función(es) primaria(s):** La(s) función(es) que constituyen la(s) principal(es) razón(es) por la(s) que el activo o sistema fue adquirido por el propietario o usuario.

**34. Función(es) secundaria(s):** La(s) función(es) que un activo físico o sistema tiene que cumplir a parte de a su(s) función(es) primaria(s), las cuales pueden estar relacionadas con el



cumplimiento de requerimientos de carácter regulatorio, protección, control, contención, confort, apariencia, integridad estructural y eficiencia energética.

**35. Gestión de activos o de mantenimiento:** Todas aquellas actividades que permitan determinar los objetivos y prioridades de mantenimiento, las estrategias y las responsabilidades, de manera de facilitar la planificación, programación y control de la ejecución del mantenimiento, buscando siempre una mejora continua y teniendo en cuenta aspectos económicos relevantes para la organización.

**36. Intervalo P-F:** Intervalo de tiempo que transcurre entre el punto en el cual es posible detectar una falla potencial y el punto en el cual se produce la falla funcional.

**37. Intervalo P-F neto:** Intervalo de tiempo mínimo probable que transcurre entre la detección de una falla potencial y la ocurrencia de una falla funcional.

**38. Mantenibilidad:** Es la probabilidad de que una tarea de mantenimiento pueda ser ejecutada en un intervalo de tiempo definido  $(0, t)$ , bajo condiciones establecidas y utilizando procedimientos y medios prescritos.

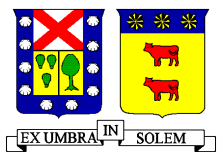
**39. Merecer la pena o económicamente conveniente:** Una tarea programada merece la pena o es económicamente conveniente, si reduce (evita, elimina o minimiza) las consecuencias del modo de falla asociado a un punto que justifique los costos directos o indirectos de realizar la tarea.

**40. Metodología RCM o Reliability Centered Maintenance:** Disciplina lógica que permite el desarrollo de programas de mantenimiento efectivos que maximicen la confiabilidad de equipos complejos a mínimo costo.

**41. Modo de falla:** Un evento único, que causa una falla funcional.

**42. Norma SAE JA 1011:** Norma publicada en el año 1999, por la Engineering Society For Advancing Mobility Land Sea Air and Space (SAE), en la cual se establecen los criterios que cualquier proceso debe cumplir para ser considerado como RCM.

**43. Norma SAE JA 1012:** Norma publicada en el año 2000, por la Engineering Society For Advancing Mobility Land Sea Air and Space (SAE), que amplifica y clarifica términos y conceptos claves utilizados en RCM.



**44. Operar hasta fallar:** Una política de manejo de fallas que permite que un modo de falla específico ocurra sin ningún esfuerzo para anticiparlo o prevenirlo.

**45. Política de manejo de fallas:** Un término genérico que abarca tareas predictivas, reacondicionamiento cíclico, sustitución cíclica, búsqueda de falla, operar hasta fallar y cambios de diseño.

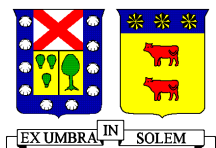
**46. Tarea de búsqueda de fallas:** Una tarea programada que busca determinar si ha ocurrido una falla oculta específica (controla si el elemento ha fallado).

**47. Tareas predictivas:** Una tarea programada usada para detectar si ha ocurrido una falla potencial (controla si el elemento está fallando o en vías de fallar).

**48. Tareas de reacondicionamiento cíclico:** Estas tareas consisten en reacondicionar la capacidad del elemento o componente antes o en el límite de edad definido, independientemente de su condición en ese momento.

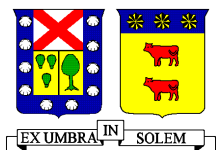
**49. Tareas de sustitución cíclica:** Estas tareas consisten en descartar un elemento o componente antes, o en el límite de edad definida, independiente de su condición en ese momento.

**50. Técnicamente factible:** Una tarea es técnicamente factible si es físicamente posible para la tarea reducir, o permitir tomar una acción que reduzca, las consecuencias del modo de falla asociado, al punto que el propietario o usuario del activo pueda aceptar.

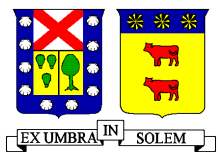


## INDICE

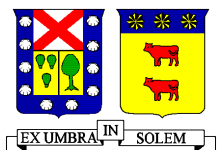
|   |     |
|---|-----|
| AGRADECIMIENTOS .....   | II  |
| DEDICATORIA .....   | III |
| RESUMEN.....  | IV  |
| GLOSARIO.....   | VII |
| INDICE .....  | XII |
| INDICE DE FIGURAS .....   | XVI |
| INDICE DE TABLAS .....  | XX  |
| 1. OBJETIVOS.....   | 1   |
| 2. INTRODUCCIÓN .....   | 2   |
| 3. JUSTIFICACIÓN Y ALCANCE.....                                 | 3   |
| 4. MARCO TEÓRICO.....   | 6   |
| 4.1. FUNDAMENTOS DE CONFIABILIDAD .....                         | 6   |
| 4.1.1. <i>Teoría de Confiabilidad Aplicada a Sistemas</i> ..... | 9   |
| 4.1.2. <i>Mantenibilidad</i> .....                              | 17  |
| 4.2. DISPONIBILIDAD DE COMPONENTES Y SISTEMAS.....              | 18  |
| 4.3. COSTOS GLOBALES.....                                       | 20  |
| 4.4. GESTIÓN DE ACTIVOS COMO HERRAMIENTA COMPETITIVA .....      | 23  |
| 4.5. CONFIABILIDAD OPERACIONAL.....                             | 26  |
| 4.6. MODELO DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO .....                   | 29  |
| 4.7. MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM) .....        | 39  |
| 4.7.1. <i>Descripción y origen de la metodología RCM</i> .....  | 39  |
| 4.7.2. <i>Las 7 preguntas de la metodología RCM</i> .....       | 41  |
| 4.7.3. <i>Conformación del equipo RCM</i> .....                 | 42  |
| 4.7.4. <i>Funciones y parámetros de funcionamiento</i> .....    | 43  |
| 4.7.5. <i>Fallas funcionales</i> .....                          | 45  |



|         |  |     |
|---------|--|-----|
| 4.7.6.  | <i>Modos de falla</i> .....  | 47  |
| 4.7.7.  | <i>Efectos de falla</i> .....  | 53  |
| 4.7.8.  | <i>Consecuencias de falla</i> .....  | 59  |
| 4.7.9.  | <i>Selección de tareas de mantenimiento</i> .....  | 60  |
| 4.7.10. | <i>Implementación RCM</i> .....  | 74  |
| 5.      | METODOLOGÍA .....  | 75  |
| 6.      | DESARROLLO DEL ANÁLISIS RCM.....   | 76  |
| 6.1.    | DESCRIPCIÓN DE LOS SIMULADORES DE VUELO .....  | 76  |
| 6.2.    | DESCRIPCIÓN Y ANTECEDENTES DE LOS SISTEMAS DE AIRE ACONDICIONADO .....                           | 79  |
| 6.2.1.  | <i>Sistema de aire acondicionado de simulador A320-1</i> .....                                   | 80  |
| 6.2.2.  | <i>Sistema de aire acondicionado simulador A320-2</i> .....                                      | 87  |
| 6.2.3.  | <i>Sistema de aire acondicionado simulador B 787</i> .....                                       | 93  |
| 6.3.    | DEFINICIÓN DEL EQUIPO RCM .....  | 97  |
| 6.4.    | DEFINICIÓN DE FRECUENCIAS DE FALLA TOLERABLES Y NIVELES DE CRITICIDAD .....                      | 99  |
| 6.4.1.  | <i>Fallas con consecuencias en seguridad y medio ambiente</i> .....                              | 99  |
| 6.4.2.  | <i>Fallas con consecuencias operacionales</i> .....  | 100 |
| 6.4.3.  | <i>Fallas con consecuencias no operacionales</i> .....   | 101 |
| 6.5.    | ALGORITMO PARA SELECCIONAR EL NIVEL DE CRITICIDAD DEL MODO DE FALLA.....                         | 102 |
| 6.6.    | DISEÑO DE PLANILLA DE RESULTADOS RCM.....  | 103 |
| 6.7.    | RESULTADOS DE ANÁLISIS RCM.....  | 105 |
| 6.8.    | FACTIBILIDAD TÉCNICA Y CONVENIENCIA ECONÓMICA DE LAS TAREAS PROPUESTAS.....                      | 111 |
| 6.8.1.  | <i>Factibilidad técnica y conveniencia económica de tareas propuestas para equipos compactos</i> | 112 |
| 6.8.2.  | <i>Factibilidad técnica y conveniencia económica de tareas de E. de precisión</i> .....          | 116 |
| 6.8.3.  | <i>Factibilidad técnica y conveniencia económica de tareas para equipos Chiller</i> .....        | 120 |
| 6.8.4.  | <i>Factibilidad técnica y valer la pena tareas torres de enfriamiento</i> .....                  | 124 |
| 6.8.5.  | <i>Factibilidad técnica y conveniencia económica de tareas propuestas para UMA Morrison</i>      | 126 |
| 6.8.6.  | <i>Resumen de factibilidad técnica y económica de las tareas propuestas</i> .....                | 128 |
| 6.9.    | STOCK DE MATERIALES Y HERRAMIENTAS REQUERIDAS .....  | 129 |

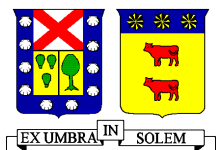


|         |  |            |
|---------|--|------------|
| 6.10.   | EVALUACIÓN DEL DISEÑO FUNCIONAL DE LOS SISTEMAS DE AIRE ACONDICIONADO .....  | 131        |
| 6.10.1. | <i>Reemplazo de serpentín evaporador de equipo compacto Morrison A320-1.....</i>                                       | <i>134</i> |
| 6.10.2. | <i>Homologación eléctrica de equipo compacto Morrison A320-1.....</i>  | <i>135</i> |
| 6.10.3. | <i>Instalación de puertas aislantes en bahías de simuladores A320-1 y A320-2 .....</i>                                 | <i>136</i> |
| 6.10.4. | <i>Análisis de dureza de aguas y cambio de cañerías en torres de enfriamiento.....</i>                                 | <i>139</i> |
| 6.10.5. | <i>Control centralizado básico para los sistemas de aire acondicionado.....</i>  | <i>141</i> |
| 6.10.6. | <i>Instalación de equipo de back up para compacto Morrison A320-2 .....</i>  | <i>143</i> |
| 6.11.   | ANÁLISIS DE COSTO GLOBAL DE LA PROPUESTA .....   | 144        |
| 6.11.1. | <i>Presentación de alternativas de inversión.....</i>  | <i>144</i> |
| 6.11.2. | <i>Horizonte de tiempo y tasa de interés.....</i>  | <i>147</i> |
| 6.11.3. | <i>Resumen de costos .....</i>   | <i>149</i> |
| 6.11.4. | <i>Fórmulas y factor de actualización a utilizar.....</i>  | <i>155</i> |
| 6.11.5. | <i>Resultados de costos globales.....</i>  | <i>156</i> |
| 6.12.   | PROPUESTA DE MODELO DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO .....  | 159        |
| 6.12.1. | <i>Análisis de la situación actual, definición de objetivos, estrategias y responsabilidades de mantenimiento.....</i> | <i>160</i> |
| 6.12.2. | <i>Jerarquización de equipos de aire acondicionado de simuladores de vuelo.....</i>                                    | <i>163</i> |
| 6.12.3. | <i>Análisis de puntos débiles en equipos de alto impacto.....</i>  | <i>165</i> |
| 6.12.4. | <i>Diseño de planes de mantenimiento y recursos necesarios.....</i>  | <i>167</i> |
| 6.12.5. | <i>Programación del mantenimiento y optimización en la asignación de recursos: .....</i>                               | <i>167</i> |
| 6.12.6. | <i>Evaluación y control de la ejecución del mantenimiento: .....</i>   | <i>168</i> |
| 6.12.7. | <i>Análisis del ciclo de vida y de la posible renovación de equipos .....</i>  | <i>168</i> |
| 7.      | CONCLUSIONES .....   | 169        |
| 8.      | REFERENCIAS .....  | 176        |
| 9.      | ANEXOS.....  | 178        |
| 9.1.    | RESULTADOS DE ANÁLISIS RCM DE EQUIPOS SEMI-CRÍTICOS Y NO CRÍTICOS .....  | 178        |
| 9.2.    | HISTÓRICO DE FALLAS SISTEMAS DE AIRE ACONDICIONADO SIMULADORES.....  | 205        |
| 9.3.    | COSTOS DE INEFICIENCIA Y REPARACIÓN ESTIMADOS POR ALTERNATIVA .....  | 207        |
| 9.3.1.  | <i>Costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 0.....</i>  | <i>207</i> |
| 9.3.2.  | <i>Costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 1.....</i>  | <i>218</i> |



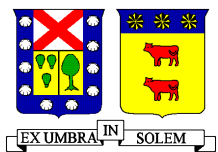
|   |     |
|---|-----|
| 9.3.3. Costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 2..... | 229 |
| 9.3.4. Costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 3..... | 240 |
| 9.3.5. Costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 4..... | 251 |
| 9.4. COTIZACIONES DE REPUESTOS POR EQUIPO.....                          | 261 |



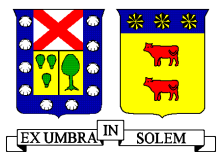


## INDICE DE FIGURAS

|   |           |
|---|-----------|
| <i>Figura 1: Costos durante el ciclo de vida. Fuente: Arata et al., 2009, p.100.....</i>  | <i>7</i>  |
| <i>Figura 2: Comparación entre costos de ineficiencia y de inversión. Fuente: Arata, 2009, p.103. ....</i>                                | <i>8</i>  |
| <i>Figura 3: Representación de función de densidad de probabilidad de falla. Fuente: Arata, 2009, p. 105. ....</i>                        | <i>10</i> |
| <i>Figura 4: Ciclo de vida del equipo. Fuente: Arata et al., 2009, p.106. ....</i>  | <i>11</i> |
| <i>Figura 5: Representación sistema en serie. Fuente: Arata et al., 2009, p. 114. ....</i>  | <i>13</i> |
| <i>Figura 6: Representación de sistemas en paralelo. Fuente: Arata et al., 2009, p.118. ....</i>  | <i>15</i> |
| <i>Figura 7: Representación sistema en stand by. Fuente: Arata et al., 2009, p. 122. ....</i>   | <i>16</i> |
| <i>Figura 8: Curva de costos globales. Fuente: Arata et al., 2009, p. 139. ....</i>   | <i>20</i> |
| <i>Figura 9: Ejes de la Confiabilidad Operacional. Fuente: Elaboración propia.....</i>  | <i>27</i> |
| <i>Figura 10: Modelo de gestión de mantenimiento. Fuente: P.Viveros, et al., 2013, p. 129. ....</i>                                       | <i>30</i> |
| <i>Figura 11: Modelo para la implementación de la estrategia de mantenimiento. Fuente: P. Viveros et al., 2013, p.130</i><br><i>.....</i> | <i>32</i> |
| <i>Figura 12: Matriz genérica de criticidad. Fuente: P. Viveros, et al., 2013, p.131. ....</i>  | <i>34</i> |
| <i>Figura 13: Conformación típica de un grupo RCM. Fuente: Moubray, 2004, p. 17. ....</i>   | <i>42</i> |
| <i>Figura 14: Ejemplo de sistema de bombeo. Fuente: Elaboración propia. ....</i>  | <i>44</i> |
| <i>Figura 15: Ejemplo de listado de modos de falla típico. Fuente: Elaboración propia. ....</i>   | <i>48</i> |
| <i>Figura 16: Modos de falla y tareas proactivas. Fuente: J. Moubray, 2004, p. 59. ....</i>   | <i>50</i> |
| <i>Figura 17: Tiempo de parada v/s tiempo de reparación. Fuente: J. Moubray, 2004. ....</i>   | <i>57</i> |
| <i>Figura 18: Patrones de falla relacionadas con la edad. Fuente: SAE, 2002, p. 27.....</i>   | <i>61</i> |
| <i>Figura 19: Curva P-F. Fuente: SAE, 2002, p. 34. ....</i>   | <i>64</i> |
| <i>Figura 20: Intervalo P-F. Fuente: SAE, 2002, p. 34. ....</i>   | <i>65</i> |
| <i>Figura 21: Intervalo neto P-F. Fuente: SAE, 2002, p. 35.....</i>   | <i>66</i> |
| <i>Figura 22: Intervalos P-F inconsistentes. Fuente: SAE, 2002, p. 38.....</i>  | <i>67</i> |
| <i>Figura 23: Simulador A320-2. Fuente: Fotografía tomada en la instalación por autor de esta memoria (2015). ....</i>                    | <i>77</i> |



|  |            |
|--|------------|
| <i>Figura 24: Configuración lógico-funcional sistema de aire acondicionado de simulador A320-1.....</i>                | <i>81</i>  |
| <i>Figura 25: Costos globales sistema aire acondicionado A320-1, 2011-2014. ....</i>                                   | <i>84</i>  |
| <i>Figura 26: Fallas anuales por equipo 2011-2014, sistema de aire acondicionado A320-1.....</i>                       | <i>85</i>  |
| <i>Figura 27: Costos globales por equipo sistema aire acondicionado A320-1.....</i>                                    | <i>86</i>  |
| <i>Figura 28: Configuración lógico-funcional sistema de aire acondicionado del simulador A320-2.....</i>               | <i>88</i>  |
| <i>Figura 29: Costos globales 2011-2-014, sistema aire acondicionado A320-2.....</i>                                   | <i>90</i>  |
| <i>Figura 30: Fallas anuales por equipo 2011-2014, sistema de aire acondicionado A320-2.....</i>                       | <i>91</i>  |
| <i>Figura 31: Costos globales por equipo sistema aire acondicionado A320-2.....</i>                                    | <i>92</i>  |
| <i>Figura 32: Configuración lógico-funcional sistema de aire acondicionado simulador B787.....</i>                     | <i>95</i>  |
| <i>Figura 33: Conformación del equipo RCM. ....</i>  | <i>97</i>  |
| <i>Figura 34: Diseño de planilla de resultados RCM. ....</i>   | <i>103</i> |
| <i>Figura 35: Resultados de análisis RCM: Equipos Compactos Morrison A320-1 y A320-2, página 1 de 4. ....</i>          | <i>105</i> |
| <i>Figura 36: Resultados de análisis RCM: Equipos Compactos Morrison A320-1 y A320-2, página 2 de 4. ....</i>          | <i>106</i> |
| <i>Figura 37: Resultados de análisis RCM: Equipos Compactos Morrison A320-1 y A320-2, página 3 de 4. ....</i>          | <i>107</i> |
| <i>Figura 38: Resultados de análisis RCM: Equipos Compactos Morrison A320-1 y A320-2, página 4 de 4. ....</i>          | <i>108</i> |
| <i>Figura 39: Resultados de análisis RCM: UMA Morrison simulador B 787, página 1 de 2. ....</i>                        | <i>109</i> |
| <i>Figura 40: Resultados de análisis RCM: UMA Morrison simulador B 787, página 2 de 2. ....</i>                        | <i>110</i> |
| <i>Figura 41: Puerta metálica bahía simulador A320-1.....</i>  | <i>136</i> |
| <i>Figura 42: Puerta aislante bahía simulador B787. ....</i>   | <i>137</i> |
| <i>Figura 43: Panel del sistema de control Tracer AC de Trane. Fuente: Catálogo de producto Trane, 2011. ....</i>      | <i>141</i> |
| <i>Figura 44: Resultados de análisis RCM: Sistema de refrigeración de agua Chiller simulador B 787, página 1 de 7.</i> | <i>178</i> |
| <i>.....</i>   | <i>178</i> |
| <i>Figura 45: Resultados de análisis RCM: Sistema de refrigeración de agua Chiller simulador B 787, página 2 de 7.</i> | <i>179</i> |
| <i>.....</i>   | <i>179</i> |
| <i>Figura 46: Resultados de análisis RCM: Sistema de refrigeración de agua Chiller simulador B 787, página 3 de 7.</i> | <i>180</i> |
| <i>.....</i>   | <i>180</i> |



*Figura 47: Resultados de análisis RCM: Sistema de refrigeración de agua Chiller simulador B 787, página 4 de 7.*  
..... 181

*Figura 48: Resultados de análisis RCM: Sistema de refrigeración de agua Chiller simulador B 787, página 5 de 7.*  
..... 182

*Figura 49: Resultados de análisis RCM: Sistema de refrigeración de agua Chiller simulador B 787, página 6 de 7.*  
..... 183

*Figura 50: Resultados de análisis RCM: Sistema de refrigeración de agua Chiller simulador B 787, página 7 de 7.*  
..... 184

*Figura 51: Resultados de análisis RCM: Torres de enfriamiento de simuladores A320-1 y A320-2, página 1 de 3.* 185

*Figura 52: Resultados de análisis RCM: Torres de enfriamiento de simuladores A320-1 y A320-2, página 2 de 3.* 186

*Figura 53: Resultados de análisis RCM: Torres de enfriamiento de simuladores A320-1 y A320-2, página 3 de 3.* 187

*Figura 54: Resultados de análisis RCM: Equipo de precisión Stulz para servidores de simulador A320-1, página 1 de 4.* ..... 188

*Figura 55: Resultados de análisis RCM: Equipo de precisión Stulz para servidores de simulador A320-1, página 2 de 4.* ..... 189

*Figura 56: Resultados de análisis RCM: Equipo de precisión Stulz para servidores de simulador A320-1, página 3 de 4.* ..... 190

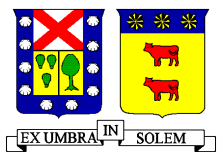
*Figura 57: Resultados de análisis RCM: Equipo de precisión Stulz para servidores de simulador A320-1, página 4 de 4.* ..... 191

*Figura 58: Resultados de análisis RCM: Equipo de precisión Stulz para servidores de simulador A320-2, página 1 de 3.* ..... 192

*Figura 59: Resultados de análisis RCM: Equipo de precisión Stulz para servidores de simulador A320-2, página 2 de 3.* ..... 193

*Figura 60: Resultados de análisis RCM: Equipo de precisión Stulz para servidores de simulador A320-2, página 3 de 3.* ..... 194

*Figura 61: Resultados de análisis RCM: Equipos de precisión servidores B 787, página 1 de 3.* ..... 195



*Figura 62: Resultados de análisis RCM: Equipos de precisión servidores B 787, página 2 de 3..... 196*

*Figura 63: Resultados de análisis RCM: Equipos de precisión servidores B 787, página 3 de 3..... 197*

*Figura 64: Resultados de análisis RCM: Equipo Compacto de Emergencia A320-1, página 1 de 4..... 198*

*Figura 65: Resultados de análisis RCM: Equipo Compacto de Emergencia A320-1, página 2 de 4..... 199*

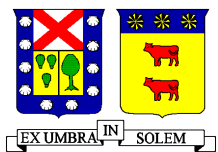
*Figura 66: Resultados de análisis RCM: Equipo Compacto de Emergencia A320-1, página 3 de 4..... 200*

*Figura 67: Resultados de análisis RCM: Equipo Compacto de Emergencia A320-1, página 4 de 4..... 201*

*Figura 68: Resultados de análisis RCM: Equipos compactos sala HPU 787 y bahías A320-1, A320-2 y B787, página 1 de 3..... 202*

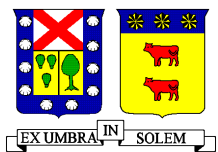
*Figura 69: Resultados de análisis RCM: Equipos compactos sala HPU 787 y bahías A320-1, A320-2 y B787, página 2 de 3..... 203*

*Figura 70: Resultados de análisis RCM: Equipos compactos sala HPU 787 y bahías A320-1, A320-2 y B787, página 3 de 3..... 204*

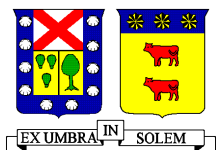


## INDICE DE TABLAS

|   |     |
|---|-----|
| <i>Tabla 1: Resumen de resultados de costos globales de la propuesta.</i> .....   | v   |
| <i>Tabla 2: Resumen funciones de densidad de falla. Fuente: Arata, 2009, p.109.</i> .....   | 12  |
| <i>Tabla 3: Las 7 preguntas de la metodología RCM. Fuente: Viveros et al., 2013, p. 133.</i> .....  | 41  |
| <i>Tabla 4: Levantamiento de equipos sistema de aire acondicionado simulador A320-1.</i> .....  | 80  |
| <i>Tabla 5: Disponibilidad 2011-2014, Simulador A320-1.</i> .....   | 83  |
| <i>Tabla 6: Levantamiento de equipos del sistema de aire acondicionado del simulador A320-2.</i> .....  | 87  |
| <i>Tabla 7: Disponibilidad 2011-2014, Simulador A320-2.</i> .....   | 89  |
| <i>Tabla 8: Levantamiento de equipos sistema de aire acondicionado simulador B 787.</i> .....   | 93  |
| <i>Tabla 9: Disponibilidad 2011-2014, sistema de aire acondicionado B787.</i> .....   | 96  |
| <i>Tabla 10: Niveles de criticidad y frecuencias de fallas tolerables para modos de falla con consecuencias en seguridad y medioambiente.</i> ..... | 100 |
| <i>Tabla 11: Niveles de criticidad y frecuencias de fallas tolerables para modos de falla con consecuencias operacionales.</i> .....                | 100 |
| <i>Tabla 12: Niveles de criticidad y frecuencias de fallas tolerables para modos de falla con consecuencias no operacionales.</i> .....             | 101 |
| <i>Tabla 13: Recomendaciones, equipos compactos.</i> .....  | 112 |
| <i>Tabla 14: Tareas de mantenimiento anuales, equipos compactos.</i> .....  | 112 |
| <i>Tabla 15: Tareas de mantenimiento mensuales, equipos compactos.</i> .....  | 113 |
| <i>Tabla 16: Tareas de mantenimiento semestrales, equipos compactos.</i> .....  | 113 |
| <i>Tabla 17: Tareas de mantenimiento trimestrales, equipos compactos.</i> .....   | 114 |
| <i>Tabla 18: Recomendación, equipos de precisión A320-1 y A320-2.</i> .....   | 116 |
| <i>Tabla 19: Tareas de mantenimiento anuales, equipos de precisión</i> .....  | 116 |
| <i>Tabla 20: Tareas de mantenimiento mensuales, equipos de precisión</i> .....  | 117 |
| <i>Tabla 21: Tareas de mantenimiento semestrales, equipos de precisión</i> .....  | 117 |
| <i>Tabla 22: Tareas de mantenimiento trimestrales, equipos de precisión.</i> .....  | 118 |
| <i>Tabla 23: Recomendaciones, equipos Chiller.</i> .....  | 120 |
| <i>Tabla 24: Tareas de mantenimiento anuales, equipos Chiller.</i> .....  | 120 |
| <i>Tabla 25: Tareas de mantenimiento mensuales, equipos Chiller.</i> .....  | 121 |
| <i>Tabla 26: Tareas de mantenimiento semanales, equipos Chiller.</i> .....  | 121 |
| <i>Tabla 27: Tareas de mantenimiento semestrales, equipos Chiller.</i> .....  | 122 |
| <i>Tabla 28: Tareas de mantenimiento trimestrales, equipos Chiller.</i> .....   | 122 |
| <i>Tabla 29: Tareas de mantenimiento anuales, torres de enfriamiento.</i> .....   | 124 |



|   |     |
|---|-----|
| Tabla 30: Tareas de mantenimiento mensuales, torres de enfriamiento. ....   | 124 |
| Tabla 31: Tareas de mantenimiento trimestrales, torres de enfriamiento. ....  | 124 |
| Tabla 32: Tareas de mantenimiento mensual, UMA Morrison.....  | 126 |
| Tabla 33: Tareas de mantenimiento trimestral, UMA Morrison. ....  | 126 |
| Tabla 34: Stock actual de materiales y herramientas de mantenimiento.....   | 129 |
| Tabla 35: Stock de materiales y herramientas requeridos.....  | 130 |
| Tabla 36: Ranking de cambios de diseño propuestos. ....   | 131 |
| Tabla 37: Presupuesto por reemplazo de serpentín evaporador de equipo compacto Morrison A320-1.....   | 134 |
| Tabla 38: Presupuesto por homologación eléctrica equipo compacto Morrison A320-1. ....  | 135 |
| Tabla 39: Presupuesto por instalación de puertas aislantes en bahías de simuladores A320-1 y A320-2.....  | 138 |
| Tabla 40: Presupuesto por análisis de dureza de aguas y cambio de cañerías de PVC a cobre en torres de enfriamiento.....                          | 140 |
| Tabla 41: Presupuesto por instalación de control centralizado básico.....   | 142 |
| Tabla 42: Presupuesto por instalación de equipo de back up para Compacto Morrison A320-2.....   | 143 |
| Tabla 43: Costos anuales de tareas de mantenimiento.....  | 149 |
| Tabla 44: Inversión requerida en materiales y herramientas. ....  | 149 |
| Tabla 45: Inversión requerida para cambios de diseño. ....  | 149 |
| Tabla 46: Costos de ineficiencia y reparación esperados <b>alternativa 1</b> .....  | 150 |
| Tabla 47: Costos de ineficiencia y reparación esperados <b>alternativa 2</b> .....  | 152 |
| Tabla 48: Costos de ineficiencia y reparación esperados <b>alternativa 3</b> .....  | 153 |
| Tabla 49: Costos de ineficiencia y reparación esperados <b>alternativa 4</b> .....  | 154 |
| Tabla 50: Jerarquización de equipos de aire acondicionado de simuladores de vuelo.....  | 163 |
| Tabla 51: Histórico de fallas 2011-2015, sistema de aire acondicionado A320-1.....  | 205 |
| Tabla 52: Histórico de fallas 2011-2015, sistema de aire acondicionado A320-2.....  | 206 |
| Tabla 53: Histórico de fallas 2011-2015, sistema de aire acondicionado B787. ....   | 206 |
| Tabla 54: Resumen de costos de ineficiencia y reparación estimados para alternativa 0 (no realizar ningún tipo de mantenimiento preventivo). .... | 207 |
| Tabla 55: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 0, Compacto Morrison A320-1.....                                   | 208 |
| Tabla 56: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 0, Compacto Morrison A320-2.....                                   | 209 |
| Tabla 57: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 0, Compacto de Emergencia. ....                                    | 210 |
| Tabla 58: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 0, Compactos bahías y salas HPU. ....                              | 211 |
| Tabla 59: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 0, Torres de enfriamiento. ....                                    | 212 |
| Tabla 60: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 0, Equipo de Precisión A320-1.....                                 | 213 |



*Tabla 61: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 0, Equipo de Precisión A320-2..... 214*

*Tabla 62: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 0, Equipo de Precisión B787..... 215*

*Tabla 63: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 0, Chiller B787 parte 1..... 216*

*Tabla 64: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 0, Chiller B787 parte 2..... 217*

*Tabla 65: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 0, UMA Morrison B787..... 217*

*Tabla 66: Resumen de costos de ineficiencia y reparación estimados para alternativa 1. .... 218*

*Tabla 67: Resumen de costos de ineficiencia y reparación estimados para alternativa 1. .... 219*

*Tabla 68: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 1, Compacto Morrison A320-2..... 220*

*Tabla 69: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 1, Compacto de Emergencia. .... 221*

*Tabla 70: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 1, Compactos bahías y salas HPU. .... 222*

*Tabla 71: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 1, Torres de enfriamiento. .... 223*

*Tabla 72: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 1, Equipo de Precisión A320-1..... 224*

*Tabla 73: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 1, Equipo de Precisión A320-2..... 225*

*Tabla 74: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 1, Equipo de Precisión B787..... 226*

*Tabla 75: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 1, Chiller B787 parte 1..... 227*

*Tabla 76: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 1, Chiller B787 parte 2..... 228*

*Tabla 77: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 1, UMA Morrison B787..... 228*

*Tabla 78: Resumen de costos de ineficiencia y reparación estimados para alternativa 2 ..... 229*

*Tabla 79: Resumen de costos de ineficiencia y reparación estimados para alternativa 2. .... 230*

*Tabla 80: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 2, Compacto Morrison A320-2..... 231*

*Tabla 81: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 2, Compacto de Emergencia. .... 232*

*Tabla 82: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 2, Compactos bahías y salas HPU. .... 233*

*Tabla 83: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 2, Torres de enfriamiento. .... 234*

*Tabla 84: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 2, Equipo de Precisión A320-1..... 235*

*Tabla 85: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 2, Equipo de Precisión A320-2..... 236*

*Tabla 86: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 2, Equipo de Precisión B787..... 237*

*Tabla 87: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 2, Chiller B787 parte 1..... 238*

*Tabla 88: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 2, Chiller B787 parte 2..... 239*

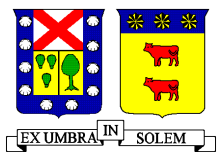
*Tabla 89: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 2, UMA Morrison B787..... 239*

*Tabla 90: Resumen de costos de ineficiencia y reparación estimados para alternativa 3. .... 240*

*Tabla 91: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 3, Compacto Morrison A320-1..... 241*

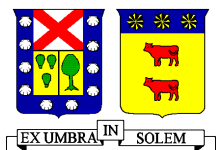
*Tabla 92: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 3, Compacto Morrison A320-2..... 242*





|   |            |
|---|------------|
| <i>Tabla 93: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 3, Compacto de Emergencia. ....</i>             | <i>243</i> |
| <i>Tabla 94: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 3, Compactos bahías y salas HPU.<br/>.....</i>  | <i>244</i> |
| <i>Tabla 95: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 3, Torres de enfriamiento. ....</i>             | <i>245</i> |
| <i>Tabla 96: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 3, Equipo de Precisión A320-1.....</i>          | <i>246</i> |
| <i>Tabla 97: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 3, Equipo de Precisión A320-2.....</i>          | <i>247</i> |
| <i>Tabla 98: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 3, Equipo de Precisión B787. ....</i>           | <i>248</i> |
| <i>Tabla 99: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 3, Chiller B787 parte 1.....</i>                | <i>249</i> |
| <i>Tabla 100: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 3, Chiller B787 parte 2.....</i>               | <i>250</i> |
| <i>Tabla 101: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 3, UMA Morrison B787.....</i>                  | <i>250</i> |
| <i>Tabla 102: Resumen de costos de ineficiencia y reparación estimados para alternativa 4.....</i>                                | <i>251</i> |
| <i>Tabla 103: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 4, Compacto Morrison A320-1... </i>            | <i>252</i> |
| <i>Tabla 104: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 4, Compacto Morrison A320-2... </i>            | <i>253</i> |
| <i>Tabla 105: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 4, Compacto de Emergencia. ....</i>            | <i>254</i> |
| <i>Tabla 106: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 4, Compactos bahías y salas HPU.<br/>.....</i> | <i>255</i> |
| <i>Tabla 107: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 4, Torres de enfriamiento. ....</i>            | <i>255</i> |
| <i>Tabla 108: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 4, Equipo de Precisión A320-1... </i>          | <i>256</i> |
| <i>Tabla 109: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 4, Equipo de Precisión A320-2... </i>          | <i>257</i> |
| <i>Tabla 110: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 4, Equipo de Precisión B787.....</i>           | <i>258</i> |
| <i>Tabla 111: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 4, Chiller B787 parte 1.....</i>               | <i>259</i> |
| <i>Tabla 112: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 4, Chiller B787 parte 2.....</i>               | <i>260</i> |
| <i>Tabla 113: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 4, UMA Morrison B787.....</i>                  | <i>260</i> |
| <i>Tabla 114: Repuestos requeridos para equipos de aire acondicionado de simulador A320-1.....</i>                                | <i>261</i> |
| <i>Tabla 115: Repuestos requeridos para equipos de aire acondicionado de simulador A320-2.....</i>                                | <i>262</i> |
| <i>Tabla 116: Repuestos requeridos para equipos de aire acondicionado de simulador B787.....</i>                                  | <i>263</i> |





## 1. OBJETIVOS

### Objetivo General:

- Proponer una estrategia de mantenimiento para sistemas de aire acondicionado de alta criticidad, mediante la aplicación de la metodología de Mantenimiento Centrada en Confiabilidad (RCM), enmarcada en una política de confiabilidad operacional

### Objetivos Específicos:

- Incorporar en el equipo de mantenimiento y operación de los sistemas analizados los conceptos y metodología del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM), tanto a nivel de diseño como en la operación de los sistemas de apoyo.
- Realizar un análisis de las funciones, fallas, causas de fallas (modos de falla), consecuencias y efectos de falla (FMECA) de cada sub-sistema.
- Evaluar el diseño funcional de cada sub-sistema.
- Proponer, de acuerdo al análisis realizado, planes de mantenimiento correctivo y preventivo, mejoras de diseño, criterios de operación y un sistema de gestión que permita asegurar la mejora continua.

## 2. INTRODUCCIÓN

Esta propuesta busca generar una estrategia de mantenimiento para los sistemas de aire acondicionado de los simuladores de vuelo A320-1, A320-2 y B787, los cuales son operados y mantenidos por una importante empresa dedicada a la industria del facility management.

Los sistemas de aire acondicionado mencionados, son considerados de alta criticidad, debido que su falla puede provocar la detención de los simuladores de vuelo, generando costos de ineficiencia para la empresa dueña de los simuladores (empresa especialista), costos de reparación para la empresa dueña de las instalaciones donde se encuentran los simuladores (aerolínea) y costos ocultos por baja calidad de servicio para la empresa de facility.

Para desarrollar la propuesta se utilizará la metodología conocida bajo el nombre de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM). Esta metodología es de amplio uso y reconocimiento en la industria, puesto que permite obtener tareas de mantenimiento aplicables y efectivas para los activos físicos de una organización, tomando en cuenta su contexto operacional. Concretamente la metodología RCM consiste en un análisis a nivel de sistema y sub-sistema que permite determinar funciones, fallas, modos de falla (o causas de fallas), efectos y consecuencias, establecer modos de falla críticos (en base a las consecuencias detectadas) y diseñar planes de mantenimiento para eliminar o minimizar las consecuencias de los modos de falla analizados.

Este trabajo contempla, además, un análisis del diseño funcional de los sistemas y una propuesta de modelo de gestión para asegurar la mejora continua.

Es necesario mencionar que los resultados obtenidos se someterán a un análisis de costo global para así determinar su conveniencia económica.

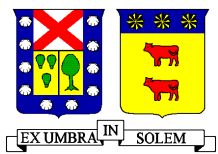
### 3. JUSTIFICACIÓN Y ALCANCE

El presente trabajo ha sido desarrollado para una importante empresa dedicada a la industria del facility management, la cual provee servicios integrales de mantenimiento, limpieza, seguridad, catering y soporte a grandes compañías nacionales y extranjeras. Entre los principales clientes de la compañía, se encuentra una destacada aerolínea líder en América Latina, a la que presta servicios de mantenimiento y limpieza para sus instalaciones de la región Metropolitana.

Una de las instalaciones de la aerolínea es utilizada por una tercera empresa, especializada en capacitación y cursos de simulación para pilotos y personal de vuelo de diversas compañías aéreas. El principal negocio de la compañía especialista son los simuladores de vuelo A320-1, A320-2 y B-787. Estos simuladores son del tipo Full Flight Simulator e incluyen modernos sistemas para emular con gran fidelidad la experiencia de vuelo de un avión real.

Para su operación, los simuladores dependen del correcto funcionamiento de distintos sistemas y subsistemas, dentro de los cuales se encuentran los sistemas de aire acondicionado, cuya finalidad es enfriar los dispositivos electrónicos de los simuladores para así evitar daños por sobrecalentamiento. Los sistemas de aire acondicionado de los simuladores están a cargo de la empresa de facility citada inicialmente. Estos sistemas, si bien, son operados y mantenidos por personal técnico especializado, no cuentan con una estrategia que permita asegurar una adecuada gestión del mantenimiento, entendiéndose como tal, aquella que considere el ciclo de vida de los activos, teniendo por objetivos la reducción de los costos directos e indirectos de operación (costos globales), el aseguramiento del buen funcionamiento de los equipos y sus funciones, la máxima disminución de los riesgos para las personas y el medio ambiente, y que, además, genere procesos y actividades que soporten los objetivos mencionados.

Una de las estrategias más utilizadas en la industria para generar estrategias de mantenimiento es la denominada como RCM o Mantenimiento Centrada en Confiabilidad. Esta metodología



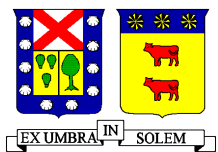
permite determinar de forma conveniente las necesidades de mantenimiento de cualquier activo físico en su entorno de operación, identificando los modos de falla que preceden a las posibles fallas de los equipos y ejecutando un proceso sistemático y homogéneo para la selección de tareas de mantenimiento que se consideren convenientes y aplicables.

Es así como este trabajo tiene como objetivo proponer una estrategia de mantenimiento para los sistemas de aire acondicionado de los simuladores de vuelo A320-1, A320-2 y B-787, mediante la aplicación de una metodología de Mantenimiento Centrada en Confiabilidad (RCM), la cual este enmarcada en una política de confiabilidad operacional, es decir, cuyo enfoque este en aumentar la capacidad de la empresa para cumplir con sus propósitos de negocio dentro de los límites de diseño y condiciones operacionales.

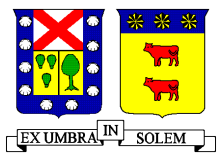
Los resultados de esta propuesta incluirán planes de mantenimiento correctivo y preventivo, mejoras de diseño, criterios de operación, stock de repuestos y un sistema de gestión que permita asegurar la mejora continua. Estos resultados serán sometidos a un análisis de costo global para así determinar los beneficios económicos esperados, luego de aplicar los planes y mejoras propuestas, para las tres empresas interesadas (empresa de facility, aerolínea y empresa especialista).

Para la empresa de facility se espera: mejorar la calidad de servicio con todos los beneficios que ello implica, generar oportunidad de negocio al liderar la ejecución de los cambios de diseño propuestos, mejorar la calidad de vida de sus empleados al disminuir el número de emergencias por fallas y contar con mejores condiciones de trabajo.

Para la aerolínea se espera disminuir los gastos correctivos debido a fallas en los equipos de aire acondicionado y mejorar la confiabilidad de su instalación contribuyendo positivamente a su imagen de marca.



Por último, para la empresa especialista se espera disminuir los costos de ineficiencia por detenciones de los simuladores debido a fallas en los equipos de aire acondicionado y potenciar su imagen de empresa innovadora y confiable.



## 4. MARCO TEÓRICO

### 4.1. Fundamentos de Confiabilidad

En las últimas décadas las empresas productivas y de servicios se han visto en la obligación de flexibilizar su sistema productivo, como una forma de responder a los requerimientos de mercados cada vez más exigentes y cambiantes. Esto las ha llevado a implementar nuevas técnicas en la gestión de sus operaciones para lograr así una mayor productividad, mejor calidad, mayor velocidad de respuesta y mejor imagen, en definitiva, lograr una sólida posición competitiva en el mercado. (Arata, 2009, p. 99).

Bajo este escenario crece la importancia de la cuantificación y minimización de los costos globales de los activos de una empresa o proyecto industrial durante todo su ciclo de vida. Estos costos deben considerar no sólo los costos tradicionales, sino también los costos ocultos asociados a la seguridad de funcionamiento de las instalaciones, que responden, más bien, a costos probables propios del riesgo operacional.

De esta manera al evaluar un proyecto, no sólo se debe considerar la inversión y los costos de operación visibles, si no también, aquellos costos generados por detenciones no programadas de las instalaciones. Para esto es necesario utilizar métodos de análisis integral, los cuales se conocen como Life Cycle Cost (en adelante LCC) o Análisis del Ciclo de Vida.

El LCC permite identificar los costos globales de una instalación industrial o equipo durante todo su ciclo de vida, es decir, desde su concepción hasta el fin de su vida económica.

En la Figura 1 se observa como una solución orientada fuertemente hacia una reducción de los costos de implementación y desarrollo de un proyecto (inversión), puede no ser la mejor solución económica a lo largo todo el ciclo de vida del equipo o instalación.

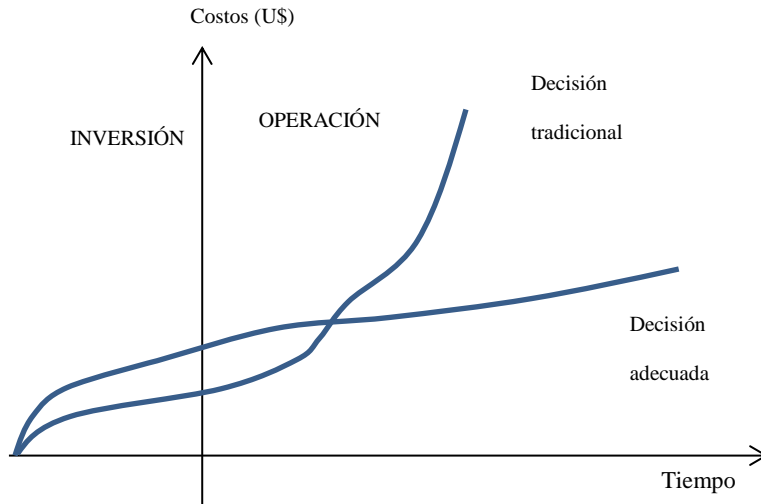


Figura 1: Costos durante el ciclo de vida. Fuente: Arata et al., 2009, p.100

El LCC no sólo considera los costos tradicionales o visibles, sino también aquellos costos ocultos asociados a la cuantificación de la falta de producción (ventas no realizadas) debido, por ejemplo, a fallas en los equipos o la producción de productos defectuosos. Dentro de los costos ocultos más relevantes que necesitan ser cuantificados se encuentran los costos de ineficiencia, los cuales representan el gasto por falta de capacidad productiva, según los estándares establecidos, debido a fallas o detenciones no programadas en las instalaciones y/o equipos.

Este costo está dado por:

$$C_i = C_f \cdot T \quad (1), \quad \text{dónde:}$$

$C_f$ : representa al costo de falta que normalmente tiene dos valores: uno para detenciones pequeñas y otro valor más representativo para detenciones mayores.

$T$ : representa el tiempo de dicha detención.

Nota: Es importante recalcar que una detención presupuestada de la máquina no constituye costo de ineficiencia.

Por otro lado, el costo de falta está dado por la diferencia entre lo que se deja de facturar ( $F^*$ ) y los costos variables ( $C_V^*$ ) que se dejan de gastar durante el período de detención ( $T$ ), es decir:

$$Cf = F^* - C_V^* \quad (2)$$

En la Figura 2 se aprecia como varían los costos de ineficiencia y de inversión, en función del grado de redundancia de las instalaciones. A mayor grado de redundancia, se observan menores costos de ineficiencia pero, también, mayores gastos de inversión (costo fijo). En cambio, a un menor grado de redundancia, si bien, disminuye la inversión requerida, se aprecia un aumento de los costos de ineficiencia. Evidentemente, el grado de capacidad óptima estará dado por los costos totales mínimos.

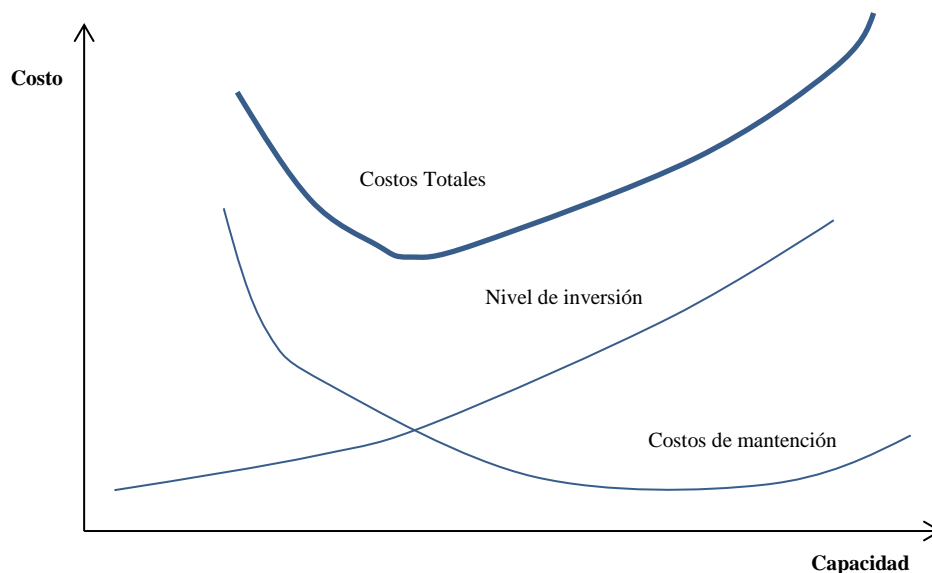
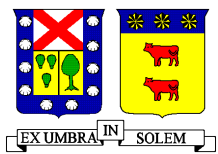


Figura 2: Comparación entre costos de ineficiencia y de inversión. Fuente: Arata, 2009, p.103.





### 4.1.1. Teoría de Confiabilidad Aplicada a Sistemas

Las fallas de un equipo en una instalación industrial no necesariamente se presentan por causas claras y asignables a condiciones preestablecidas, más bien muestran un comportamiento gobernado por la variabilidad con características propias de cada componente, equipo o sistema. Es así como se pueden establecer dos tipos de causas para las fallas de una instalación:

- Causas asignables: las cuales se pueden resolver controlando los hechos que las provocaron.
- Causas no sistemáticas: las cuales son propias del componente y requieren un análisis más complejo.

Reconociendo que el tiempo al cual un elemento falla puede ser modelado como variable aleatoria, es posible establecer lo siguiente:

“La confiabilidad se define como la probabilidad que un elemento funcione, sin fallar, durante un tiempo determinado bajo condiciones ambientales y de entorno preestablecidas”. (Arata, 2009, p.104).

Una vez fijadas las condiciones para reconocer cuando un equipo o sistema se encuentra en falla bajo un entorno establecido, la confiabilidad de un elemento será función solamente del tiempo y su comportamiento dependerá única y exclusivamente de la distribución de probabilidades con la que pueda ser modelado en el tiempo.

“...el aumentar la confiabilidad, a mínimos costos globales, debe ser el objetivo de todo profesional que desarrolle un trabajo en áreas de proyecto y mantenimiento” (Arata et al, 2009, p.104).

En la Figura 3 se muestra la función de falla “f(t)” o función de densidad probabilística de falla, la cual representa la probabilidad de que un elemento falle en un instante de tiempo “t” cualquiera, también se muestra la probabilidad acumulada de falla “F(t)”, que cuantifica la probabilidad que el equipo (o sistema) falle en el intervalo de tiempo [0,t], además se muestra el área de la curva que representa, gráficamente, a la confiabilidad “R(t)”.

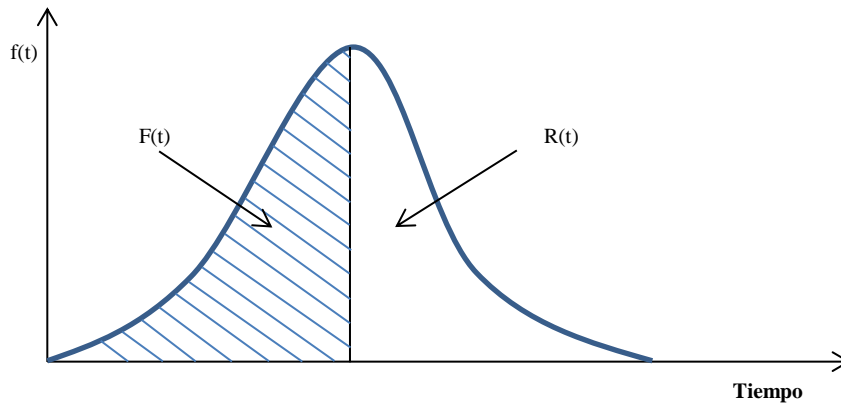


Figura 3: Representación de función de densidad de probabilidad de falla. Fuente: Arata, 2009, p. 105.

De la figura anterior se observa que la probabilidad acumulada de falla es:

$$F(t) = \int_0^t f(t)dt \quad (3)$$

Por otro lado la confiabilidad está dada por:

$$R(t) = \int_t^{\infty} f(t)dt = 1 - \int_0^t f(t)dt = 1 - F(t) \quad (4)$$

Nota: mientras más extenso sea el horizonte temporal “t”, mayor es la probabilidad de falla y, por lo tanto, menor es la confiabilidad del equipo (o sistema).

Otro indicador importante de la seguridad de funcionamiento de un sistema es el tiempo medio entre fallas o MTBF (Mean Time Between Failure), el cual se define como:

$$MTBF = \int_0^{\infty} t \cdot f(t)dt = \int_0^{\infty} R(t)dt \quad (5)$$

Por otro lado, la confiabilidad de un elemento se puede caracterizar a través de distintos modelos de probabilidades, dependiendo de la etapa de vida en que se encuentre el equipo. En la Figura 4, se muestran las distintas etapas en la vida de los equipos.

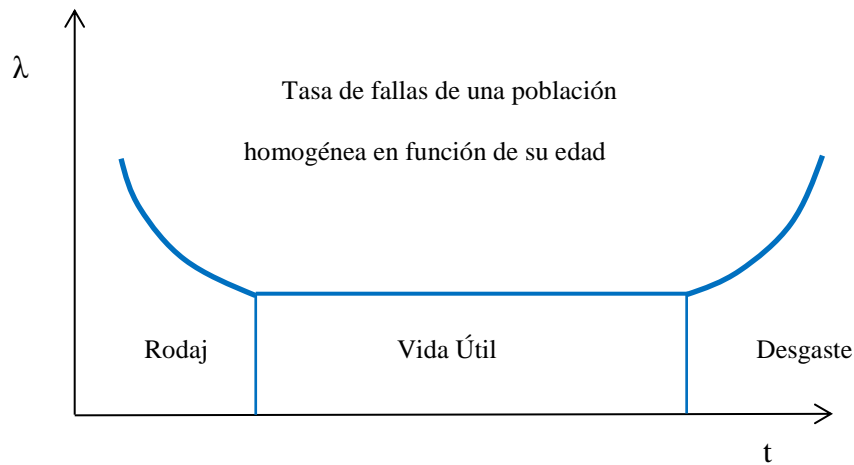


Figura 4: Ciclo de vida del equipo. Fuente: Arata et al., 2009, p.106.

De la figura anterior se observa que la tasa de falla o  $\lambda(t)$ <sup>1</sup> es función de la etapa en que se encuentre el elemento. Luego, en términos generales, es posible demostrar que:

$$R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t)dt} \quad (6)$$

<sup>1</sup> La tasa de falla o  $\lambda(t)$  se define como la probabilidad de tener una falla del sistema o del elemento entre los instantes  $t$  y  $(t+dt)$  a condición que el sistema haya sobrevivido hasta el tiempo  $t$  (Arata et al., 2009, p.106).

Para el modelamiento, matemático, de la confiabilidad se utilizan las distribuciones Weibull, exponencial y normal, las cuales permiten caracterizar cada uno de los períodos de la vida de un elemento, equipo o sistema. Es importante recordar que en el análisis de confiabilidad, se establece el supuesto de que elemento queda como nuevo (good as new) luego de una detención por mantenimiento. En la Tabla 2 se presenta un resumen de las funciones de densidad de probabilidad (de falla) más usadas para modelar la confiabilidad de componentes y sistemas.

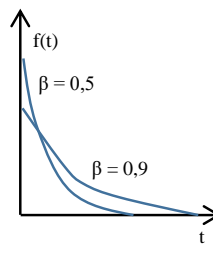
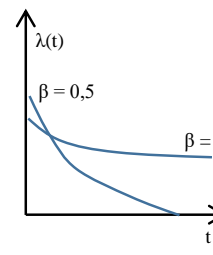
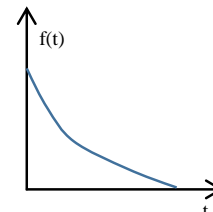
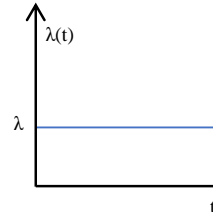
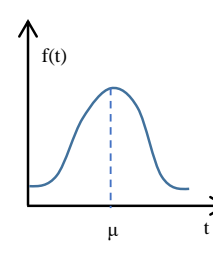
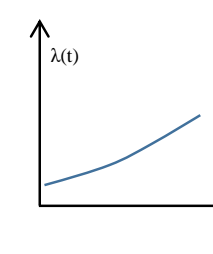
| Distribución/<br>Ciclo de vida  | MTBF  | Forma gráfica  | Tasa de falla   |
|---|---|--|---|
| <p><b>Weibull/Rodaje</b></p> $\lambda(t) = \left(\frac{\beta}{\alpha}\right) \cdot \left(\frac{t-\gamma}{\alpha}\right)^{\beta-1}, \text{ con } \beta > 1$ $f(t) = \left(\frac{\beta}{\alpha}\right) \cdot \left(\frac{t-\gamma}{\alpha}\right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\alpha}\right)^\beta}$ $R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\alpha}\right)^\beta}$ | $\gamma + \alpha \times \Gamma\left(\frac{\beta + 1}{\beta}\right)$ |    |    |
| <p><b>Exponencial Negativa/<br/>Vida útil</b></p> $f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$ $R(t) = e^{-\lambda t}$   | $\frac{1}{\lambda}$   |  |  |
| <p><b>Normal/Desgaste</b></p> $\lambda(t) = \frac{e^{-1/2\left[\frac{t-\mu}{\sigma}\right]^2}}{\int_t^\infty e^{-1/2\left[\frac{t-\mu}{\sigma}\right]^2} dt}$ $f(t) = \left(\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}\right) e^{-1/2\left[\frac{t-\mu}{\sigma}\right]^2}$ $R(t) = 1 - \int_0^t f(t) dt$   | $\mu$   |  |  |

Tabla 2: Resumen funciones de densidad de falla. Fuente: Arata, 2009, p.109.

Para realizar un análisis de la confiabilidad a nivel de sistema, se deben establecer los siguientes criterios:

- La falla de un elemento constituyente de un sistema es casual y estadísticamente, independiente del hecho que se produzca una falla en otro elemento del sistema.
- La definición entre el estado de funcionamiento y el de la falla es dependiente (o no) del modo en que funcionen las otras partes del sistema.

“El funcionamiento de un sistema, desde el punto de vista de confiabilidad, se representa gráficamente mediante esquemas de bloques de confiabilidad, adecuadamente conectados entre sí, en los que cada bloque representa un sub-sistema o componente” (Arata, 2009, p.114).

La confiabilidad de un sistema se denota  $R_S$ , mientras que la confiabilidad de cada elemento del sistema “S” se denota como  $R_i$ . Las configuraciones de funcionamiento más comunes para los sistemas son serie, paralelo y stand by. A continuación se describen cada una de estas configuraciones con sus métodos de cálculo.

#### 4.1.1.1. Configuración en Serie

La configuración en serie es aquella donde la falla de uno de sus elementos (cualquiera), que ha de considerarse como un evento independiente, determina la falla del sistema en su conjunto, es decir la falla de un elemento provoca la falla de todo el sistema (Figura 5).

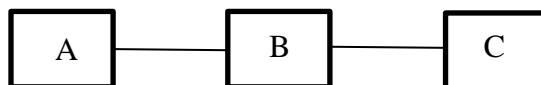


Figura 5: Representación sistema en serie. Fuente: Arata et al., 2009, p. 114.

Para calcular la confiabilidad de un sistema en serie, se debe realizar la multiplicatoria de las confiabilidades de cada uno de sus componentes:

$$R_s(t) = R1(t) \cdot R2(t) \dots \cdot Rn(t) = \prod_{i=1}^n Ri(t) \quad (7)$$

En el caso de que la tasa de falla de los subsistemas o elementos fuese constante, se puede calcular la tasa de falla como:

$$\lambda_s(t) = \sum_{i=1}^n \lambda_i(t) \quad (8)$$

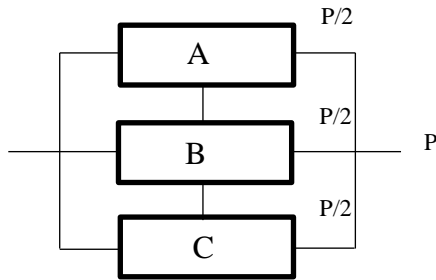
Y el tiempo medio entre fallas del sistema ( $MTBF_s$ ) como:  $MTBF_s = 1/\lambda_s$  (9)

#### 4.1.1.2. Configuración en Paralelo

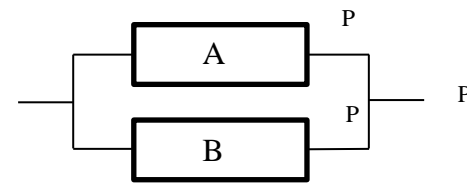
Estos sistemas pertenecen a los llamados sistemas redundantes, en donde algunas funciones están duplicadas o triplicadas (en general multiplicadas) con el fin de obtener una mayor confiabilidad de los sistemas. En términos generales, existen dos tipos de redundancia en paralelo (ver Figura 6):

- Redundancia parcial, en la cual un grupo de elementos es capaz de soportar el buen funcionamiento del sistema.
- Redundancia total, la cual se da cuando en el sistema un elemento, por sí solo, es capaz de soportar el buen funcionamiento del sistema.

### Redundancia Parcial



### Redundancia Total



P: Potencia requerida

Figura 6: Representación de sistemas en paralelo. Fuente: Arata et al., 2009, p.118.

La probabilidad acumulada de falla de un sistema en paralelo está dada por:

$$F_s(t) = F_1(t) \cdot F_2(t) \dots \cdot F_n(t) = \prod_{i=1}^n F_i(t) \quad (10)$$

Luego, tomando en consideración la ecuación 10, la confiabilidad puede calcularse como:

$$R_s(t) = 1 - F_s(t) = 1 - \prod_{i=1}^n F_i(t) \quad (11)$$

Para el caso particular de un sistema en paralelo redundancia total, compuesto de dos elementos iguales (A y B), que además se encuentran en su etapa de vida útil ( $\lambda$  constante), se tiene que el MTBF del sistema es igual a:

$$MTBF_s = \frac{3}{2} \lambda \quad (12)$$

Los sistemas en paralelo con redundancia parcial, requieren una cierta combinación mínima de elementos en buen funcionamiento para que el sistema funcione, la cual viene dada por:

$$R_s(t) = P(r \leq j \leq n) = \sum_{j=r}^n \binom{n}{j} R^j (1 - R)^{n-j} \quad (13)$$

Dónde:

$R_S(t)$ : Es la confiabilidad del sistema para un determinado tiempo “t”.

n: Es la cantidad total de elementos iguales, que conforman el sistema.

r: Es la cantidad mínima requerida de elementos en buen funcionamiento para que el sistema funcione.

R: Corresponde a la confiabilidad de cada componente de manera individual.

#### 4.1.1.3. Configuración en Stand by

Esta configuración consiste en que en un instante determinado funciona sólo uno de los elementos del sistema, mientras que los restantes permanecen en reserva, en estado de espera (stand by). En la Figura 7 se muestra la disposición de los sistemas en stand by.

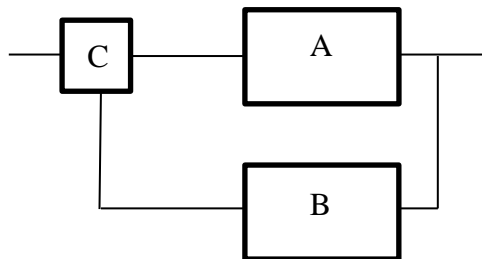
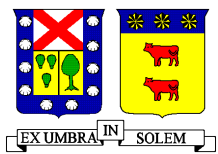


Figura 7: Representación sistema en stand by. Fuente: Arata et al., 2009, p. 122.

En la Figura 7, se observa que la variación de la conexión está a cargo de un elemento de decisión o conmutación (representada por el conmutador “C”), el cual cambia la conexión de un componente a otro cuando el que está en operación presenta una condición de falla. Este conmutador podría representar, por ejemplo, la intervención de un operador.





Si se cumple el caso particular en que  $\lambda_A = \lambda_B = \lambda$ , con  $\lambda$  constante, la confiabilidad del sistema queda como:

$$R_s(t) = e^{-\lambda t}(1 + \lambda t) \quad (14)$$

Luego, como consecuencia lógica de lo anterior, el tiempo medio entre fallas, queda dado por:

$$MTBF_S = 2/\lambda \quad (15)$$

Nota: Todo lo anterior considera que la confiabilidad del conmutador  $R_c(t)$  es igual al 100%.

#### 4.1.2. Mantenibilidad

“Mantenibilidad es la probabilidad de que una tarea dada de mantenimiento pueda ser ejecutada dentro de un intervalo de tiempo dado  $(0,t)$  cuando el mantenimiento se realiza dentro de condiciones dadas y utilizando procedimientos y medios prescritos” (Arata, 2009, p. 131).

La mantenibilidad de un equipo, depende de los siguientes aspectos:

- Tiempo de preparación.
- Tiempo de localización de la falla.
- Tiempo de desmontaje.
- Tiempo de obtención de piezas y materiales necesarios.
- Tiempo de reparación propiamente tal.
- Tiempo de ajuste y calibración.
- Tiempo de montaje.
- Tiempo de comprobación del buen funcionamiento del componente reparado.
- Tiempo de limpieza.

## 4.2. Disponibilidad de Componentes y Sistemas

“La disponibilidad refleja la posibilidad de utilización de una instalación desde el punto de vista técnico, es decir excluyendo las detenciones no originadas por falla del sistema. La disponibilidad se define, matemáticamente, como la razón (o cociente) que establece entre el tiempo en que el sistema está, realmente, disponible para el funcionamiento y el tiempo total, que incluye al tiempo anterior más el tiempo de reparación” (Arata, 2009, p.134).

De acuerdo a lo anterior la disponibilidad “A” viene dada por:

$$A = \frac{UT}{UT+DT} \quad (21)$$

Donde UT (o up time) representa el tiempo en que el sistema está disponible para el funcionamiento y DT (o down time) representa el tiempo fuera de servicio debido a causas técnicas.

Considerando los antecedentes de confiabilidad y mantenibilidad, se puede establecer un indicador de disponibilidad esperada, el cual refleja, después de muchos ciclos de operación y reparación de un elemento, el valor más probable de disponibilidad. A continuación se presenta la disponibilidad esperada en función del MTBF y MTTR:

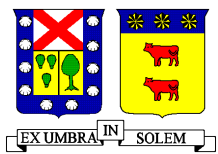
$$\text{Disponibilidad esperada} = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR} \quad (22)$$

Para el cálculo de la disponibilidad se necesitan los siguientes datos estadísticos:

$T_i$  : Tiempo de funcionamiento en cada ciclo “i” de funcionamiento-reparación.

$\tau_i$  : Tiempos de reparación en cada ciclo “i” de funcionamiento-reparación.

N : Números de ciclos de funcionamiento-reparación, en análisis.



De acuerdo a lo anterior, el up-time y el down-time se definen como:

$$UT = \sum_{i=1}^N T_i \quad (23)$$

$$DT = \sum_{i=1}^N \tau_i \quad (24)$$

Luego, dividiendo el numerador y denominador por el número de ciclos “N”, y considerando que este sea lo suficiente grande, la disponibilidad queda:

$$A = \frac{\sum_{i=1}^N \tau_i}{\sum_{i=1}^N \tau_i + \sum_{i=1}^N T_i} \quad (25)$$

#### 4.2.1. Disponibilidad de un Sistema en Serie

Para el cálculo de disponibilidad de sistemas complejos, se puede recurrir a las mismas reglas empleadas en el cálculo de la confiabilidad. Siendo la disponibilidad de los sistemas en serie:

$$A_s = \prod A_i \quad (26)$$

Donde  $A_s$  representa la disponibilidad de un sistema en serie y  $A_i$  la disponibilidad de cada componente de ese sistema.

#### 4.2.2. Disponibilidad de un Sistema en Paralelo

Para los sistemas en paralelo la disponibilidad queda como:

$$A_s = 1 - \prod (1 - A_i) \quad (27)$$

Donde el segundo término representa la indisponibilidad de cada componente del sistema.

Nota: Es importante señalar que las relaciones anteriormente vistas, no son del todo exactas desde el punto de vista teórico, sin embargo resultan adecuadas para el análisis de casos prácticos.

### 4.3. Costos Globales

Arata (2009) señala que la disponibilidad de un sistema está condicionada por la confiabilidad y mantenibilidad del mismo. Por otro lado, la indisponibilidad de los sistemas (o equipos) generan costos de ineficiencia por no producción o falta de servicio. En algunos casos los costos de ineficiencia son tan elevados, que resulta económicamente conveniente considerar equipos de respaldo (o en redundancia) para así lograr la disponibilidad “ideal” del sistema. Obviamente los equipos adicionales deben respaldar a los equipos más críticos del sistema.

Para decidir acerca del nivel de redundancia más conveniente se requiere obtener la curva de costos globales (Figura 8).

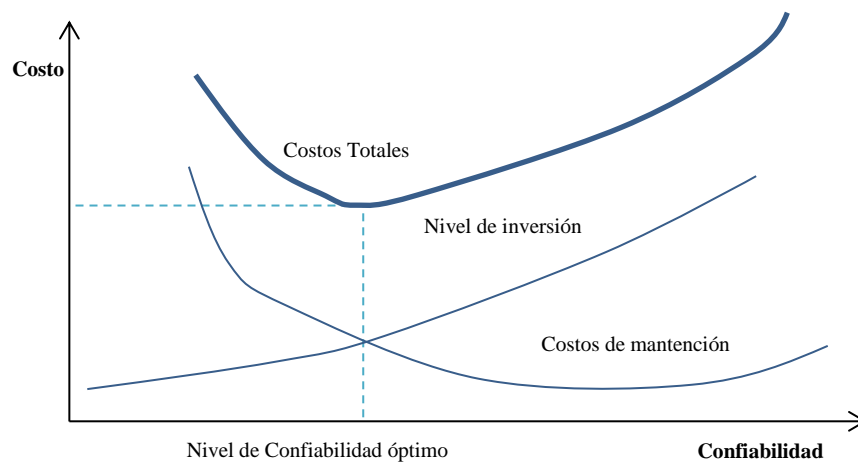
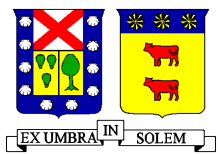


Figura 8: Curva de costos globales. Fuente: Arata et al., 2009, p. 139.



Para aumentar la confiabilidad se puede invertir a nivel de:

- Proyecto: Aumentando el nivel de redundancia, sobredimensionando la instalación o a través de mejoras de diseño.
- Operación: Generando mejores estrategias de mantenimiento.

Los costos globales son la cuantificación de todos los costos incurridos en el ciclo de un proyecto o instalación, y pueden ser descritos por la siguiente relación:

$$C. global = C. capital fijo + C. Operacional + C. de ineficiencia \quad (28)$$

El costo de capital fijo (o de inversión) queda determinado por el costo de los equipos e instalaciones asociados al proyecto. Este costo puede considerar también el capital de trabajo requerido para la operación. En general se puede representar por:

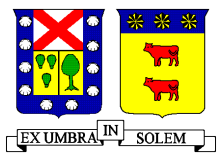
$$C. inversión = N \cdot Ce \quad (29)$$

Donde  $Ce$  corresponde al costo del equipo instalado y  $N$  el número de equipos.

El costo operacional corresponde a la cuantificación de todos aquellos elementos propios de la operación de un sistema, tales como: insumos, energía, repuestos, etcétera.

El costo de ineficiencia corresponde al costo asociado a la indisponibilidad de la instalación durante el período de evaluación. Los costos de ineficiencia se pueden representar de la siguiente manera:

$$C. ineficiencia = \sum_{k=1}^n \frac{1}{(1+i)^k} \cdot H \cdot Ci \cdot (1 - A_{\text{sistema}}) \quad (30)$$



En donde:

$C_i$  : Costos de ineficiencia horario (\$/día; U\$/día; etc.).

$H$  : Período de evaluación dentro del horizonte del proyecto.

$A_{\text{sistema}}$  : Disponibilidad del sistema.

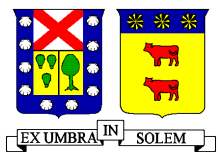
$i$  : Tasa de costo de capital de la empresa.

$n$  : Años de operación.

La sumatoria es la actualización de los flujos de dinero producto de los costos de ineficiencia por cada período  $H$  de análisis. Además, cabe recordar que  $C_i = (\text{no facturado}) - (\text{costos variables})$ . Si se tiene que los períodos son iguales se puede utilizar un factor:

$$f = \frac{(1+i)^n - 1}{(1+i)^n \cdot i} \quad (31)$$

Una vez definidos los costos globales, se puede analizar distintas alternativas de equipo y de configuraciones del sistema. Obviamente la mejor alternativa será la que permita obtener la el mínimo costo global.



#### 4.4. Gestión de Activos como Herramienta Competitiva

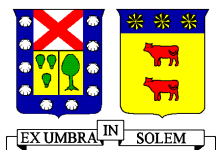
El proceso de globalización obliga a las empresas, independientes de su tamaño y sector en el que participen, confrontarse permanentemente a nivel mundial, lo que les exige abordar nuevos desafíos para lograr alcanzar competitividad según estándares internacionales, los que deberá afrontar de manera inteligente y responsable buscando permanentemente su diferenciación, en caso contrario, arriesga su permanencia en el mercado con las negativas consecuencias que ello implica (Arata et al, 2009, p.27).

La competitividad empresarial es un asunto complejo en el que interactúan factores propios de la empresa como también del entorno organizacional, territorial y mundial.

Según Arata (2009) la competitividad es la habilidad de vender, producir, satisfacer al cliente y adaptarse de manera sustentable en el tiempo gracias a la generación de ventajas competitivas que permitan competir y ser más eficiente, eficaz, efectivo e innovador que los competidores nacionales e internacionales maximizando el valor económico de la empresa.

Para labrar una competitividad sostenida en el mercado de bienes y servicios, las compañías deben aprender dos lecciones, la primera lección, es que las empresas tienen que controlar los costos laborales, afianzar la productividad y comprometerse con la innovación en procesos y productos así como en formas modernas de gestión, financiación y negocios. La segunda lección es que las empresas tienen que manejar otros parámetros que no sea sólo el precio de venta. (Juergen, 2012, pp. 2-3).

Las empresas para lograr competitividad deben ser eficientes no solo en la reducción de los costos, sino también en la atención del cliente tanto interno como externo, el cuidado al medio ambiente y el respeto a las personas. Para esto, es necesario hacer cada vez más y mejor con menos, de modo de no arriesgar las ventajas competitivas. Sin embargo, todos estos factores no

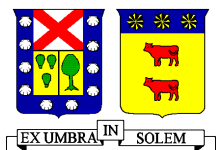


son suficientes sin que, adicionalmente se genere un ambiente que motive la capacidad de innovar permanente para así asegurar la proyección de la competitividad en el futuro a través del mejoramiento continuo de la eficiencia, la eficacia y la efectividad.

Bajo este nuevo escenario, crece la importancia de una adecuada gestión de los activos físicos de una empresa como factor determinante para lograr competitividad y cumplir con los objetivos del negocio. La moderna gestión del mantenimiento o gestión de activos, incluye todas aquellas actividades que permitan determinar los objetivos y prioridades de mantenimiento, las estrategias y las responsabilidades. Todo ello facilita la planificación, programación y control de la ejecución del mantenimiento, buscando siempre una mejora continua y teniendo en cuenta aspectos económicos relevantes para la organización. Una adecuada gestión del mantenimiento, teniendo en cuenta el ciclo de vida de cada activo físico, debe cumplir con los objetivos de reducir los costos globales de la actividad productiva, asegurar el buen funcionamiento de los equipos y sus funciones, disminuir al máximo los riesgos para las personas y los efectos negativos sobre el medio ambiente, generando, además, procesos y actividades que soporten los objetivos mencionados. Por todo ello, la gestión del mantenimiento se transforma en un poderoso factor de competitividad cuya importancia en el ámbito empresarial crece día a día (P. Viveros, R. Stegmaier, F. Kristjanpoller, L. Barbera, A. Crespo, 2013).

En el año 2011 la International Copper Association (ICA), desarrolló una encuesta para saber el estado actual de la gestión de activos en 30 empresas y 6 organismos reguladores del sector de energía eléctrica de América Latina. El resultado de la encuesta constató que aquellas empresas que practicaban convenientemente la gestión de activos, poseían un mayor dominio de la gestión de riesgos en todos los niveles (estratégico, táctico y operativo) y mayor capacidad para demostrar a los organismos reguladores, sus niveles de confiabilidad y calidad en relación a las exigencias del mercado. Lo anterior se tradujo en una ventaja competitiva para estas empresas, gracias a un mejor desempeño técnico y financiero, una visión estratégica del negocio, un mejor





equilibrio entre el retorno y los riesgos, y un aumento de la confiabilidad del sistema como un todo.

Por otra parte, la norma británica de gestión de activos PAS 55-2008, afirma que una gestión optimizada de activos, que considere todo su ciclo de vida, puede generar los siguientes beneficios en una organización:

- ✓ Mayor satisfacción del cliente gracias al mejor desempeño y control del producto o servicio entregado, según los estándares establecidos.
- ✓ Mejoras en salud, seguridad y desempeño ambiental.
- ✓ Retorno optimizado sobre la inversión y/o crecimiento.
- ✓ Planificación a largo plazo, confianza y sostenibilidad del desempeño.
- ✓ Capacidad de demostrar el mejor valor por el dinero dentro de un régimen restringido de fondos.
- ✓ Evidencia en forma de procesos para demostrar acatamiento legal, regulatorio y de estatutos.
- ✓ Mejoras en la gestión de riesgos y del gobierno corporativo y clara trazabilidad para auditar las decisiones tomadas y los riesgos asociados.
- ✓ Una mejora en la reputación corporativa, cuyos beneficios pueden incluir un valor mejorado para las partes interesadas, un mejor mercadeo del producto/servicio, mayor satisfacción del personal y una procura más eficiente y efectiva de la cadena de suministros.

#### 4.5. Confiabilidad Operacional

Hemos visto que la gestión de activos constituye una importante herramienta para generar ventajas competitivas en las empresas puesto que agrega valor en variados focos, procesos y actores de una organización a lo largo del tiempo.

Sin embargo, se necesita un marco referencial que permita guiar los esfuerzos para conseguir una adecuada y optimizada gestión de activos, la cual debe estar alineada con los objetivos y planes estratégicos de la empresa. Ante este escenario surge la Confiabilidad Operacional como enfoque para dirigir la gestión de activos de una empresa.

“La Confiabilidad Operacional es la capacidad de la empresa, a través de los procesos, las tecnologías y las personas, para cumplir con su propósito dentro de los límites del diseño y de las condiciones operacionales”. (A. Arata, 2009).

La Confiabilidad Operacional considera procesos de mejora continua que incorporan en forma sistemática herramientas de diagnóstico, metodologías de análisis y nuevas tecnologías, para optimizar el proyecto, la gestión, la planeación, la ejecución y el control, relacionados con la producción, el abastecimiento y el mantenimiento industrial.

El enfoque de la Confiabilidad Operacional requiere actuar de manera integrada sobre los activos de una empresa, desde su diseño hasta su operación y posterior desincorporación, tomando también en cuenta aspectos relacionados con los procesos y las personas.

La Confiabilidad Operacional se sustenta en cinco ejes: la confiabilidad humana, la mantenibilidad de los activos, la confiabilidad de los activos, la confiabilidad del proceso y la confiabilidad de los suministros.

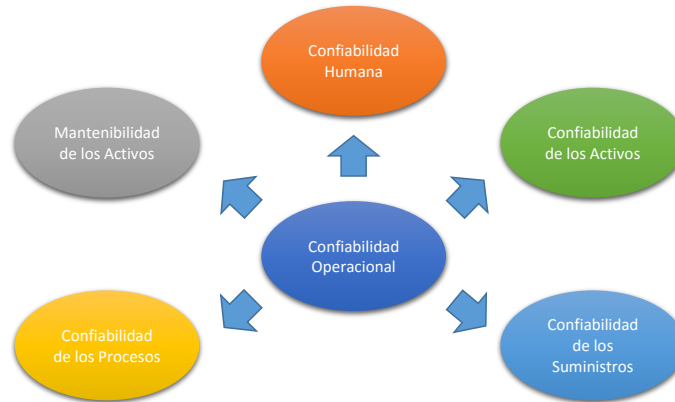


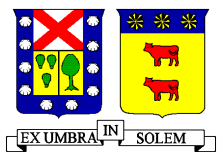
Figura 9: Ejes de la Confiabilidad Operacional. Fuente: Elaboración propia

a) Confiabilidad humana:

Tiene que ver con el involucramiento, el compromiso y las competencias que disponen las personas con las tareas que les corresponde realizar y la estructura organizacional para lograrlo. La confiabilidad humana es el conjunto de factores propios de las competencias laborales, que se relacionan con la predicción, análisis y reducción del error humano, focalizándose sobre el rol de la persona en el diseño, operación, mantenimiento y gestión de un sistema (Arata, 2009, p.308). Los elementos de la confiabilidad humana son desarrollo, capacitación, motivación, comunicación, pertinencia y ergonomía.

b) Mantenibilidad y confiabilidad de los activos

Se vincula con el diseño de los equipos y su apoyo logístico, para la disminución del tiempo medio para reparar y con las estrategias de mantenimiento de los equipos e las instalaciones y con la efectividad del mantenimiento, para el aumento de su tiempo medio entre fallas, respectivamente.

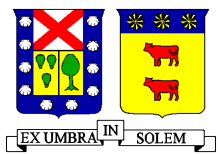


c) La confiabilidad del proceso

Se asocia con la sintonía que hay entre el proceso y los procedimientos empleados para operar las instalaciones, con los parámetros operacionales que se deben utilizar, de forma de respetar las condiciones establecidas. La estandarización de actividades, la organización y preservación del lugar de trabajo en condiciones óptimas, el despliegue de layout (plano de ubicación como guía para los activos y procesos), la capacitación e inducción con la cantidad y calidad necesarias para el conocimiento pleno del proceso a realizar y la implementación de técnicas de gerencia visual, son herramientas determinantes para asegurar la confiabilidad de procesos (Rojas, 2010).

d) La confiabilidad de los suministros

Se refiere a la integración entre los diferentes procesos o unidades internas, como operación, mantenimiento, abastecimiento, desarrollo, proveedores de insumos, energía, bienes o servicios de manera de asegurar el suministro en términos de cantidad, calidad, oportunidad y costo, a través de procesos establecidos que faciliten la logística de entrada y permitan cuando corresponda la gestión de terceros, la administración eficiente de contratos y el análisis de la oferta.



#### 4.6. Modelo de gestión de mantenimiento

Para aterrizar los conceptos de gestión de activos y confiabilidad operacional, se presenta a continuación, la propuesta de modelo de gestión de mantenimiento publicada el año 2013 en la revista *Ingeniare* por los académicos P. Viveros, R. Stegmaier, F. Kristjanpoller, L. Barbera y A. Crespo.

El modelo consiste en la aplicación de 7 etapas secuenciales, las cuales deben seguir un orden único y no invertible, conformando un bucle cerrado que asegura la mejora continua del mismo. El modelo además, contempla dos posibles puntos de partida dependiendo de la etapa en la que se encuentre el proyecto industrial. De esta manera, si el proyecto está en fase de diseño, se debe partir con el análisis del ciclo de vida, mientras que si se trata de un proceso existente y en funcionamiento, se debe iniciar con la jerarquización de los equipos críticos (Ver Figura 10).

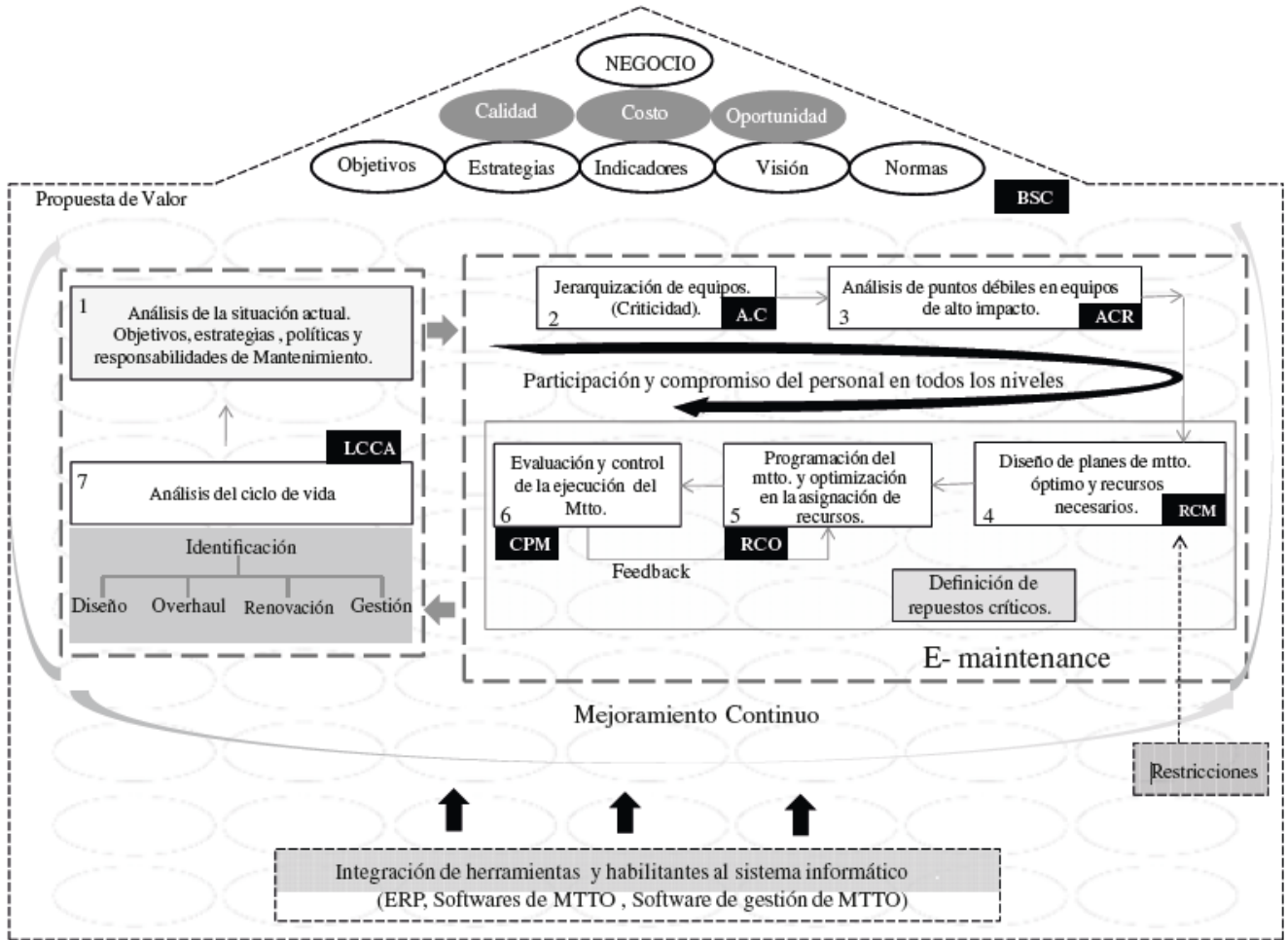


Figura 10: Modelo de gestión de mantenimiento. Fuente: P.Viveros, et al., 2013, p. 129.

A continuación se describen cada una de las etapas del modelo.

## **Etapas 1: Análisis de la situación actual. Definición de objetivos, estrategias y responsabilidades de mantenimiento:**

Se debe realizar una evaluación de la situación inicial o existente en relación a la gestión del mantenimiento, incluyendo todos los aspectos considerados relevantes, tales como, la planificación, programación y ejecución de las tareas de mantenimiento, histórico de fallas, indicadores de tiempo medio entre fallas (MTTF) y tiempo medio de reparación (MTTR), recursos financieros asignados al mantenimiento, impacto económico o en producción (consecuencia de falla del equipo) por parada no programada de la planta (sistema) o subsistema, entre otros.

Por otro lado, resulta imprescindible definir los objetivos (metas) que se persiguen, estableciendo una estrategia orientada a esos objetivos y determinando las responsabilidades del personal implicado a nivel operacional y gerencial.

El proceso de definición de una estrategia de mantenimiento requiere (Figura 11):

- Determinar, en base a los objetivos corporativos del negocio, los objetivos de mantenimiento, como por ejemplo: valores estimados y realistas de indicadores de gestión como disponibilidad de equipos, confiabilidad, seguridad, riesgo, etc.
- Determinar el desempeño o rendimiento actual de las instalaciones productivas, comparándolas con sus respectivas capacidades nominales.
- Determinar los indicadores claves para la evaluación del rendimiento de las instalaciones (Key Performance Indicators-KPIs).

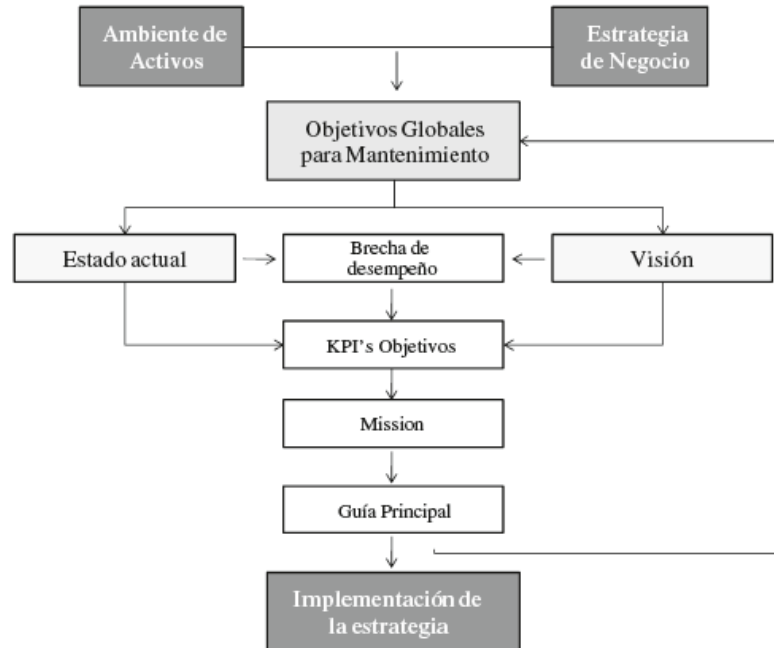
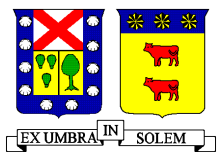


Figura 11: Modelo para la implementación de la estrategia de mantenimiento. Fuente: P. Viveros et al., 2013, p.130

La gestión del mantenimiento debe conseguir alinear todas las actividades de mantenimiento con la estrategia definida a nivel estratégico o de dirección, táctico y operativo. Una vez que se han transformado las prioridades del negocio en prioridades de mantenimiento, se procederá a la elaboración de la estrategia, de acuerdo con los objetivos. De esta forma se obtiene un plan de mantenimiento genérico en la empresa que se desarrollará y enfocará a aquellos activos considerados críticos, identificados por la etapa 2.

Las acciones a nivel táctico permitirán la correcta asignación de los recursos (habilidades, materiales, equipos de pruebas y medida, etc.) para la ejecución del plan de mantenimiento. Estas acciones deberán consolidarse en un programa detallado, que incluya todas las tareas a desarrollar y los recursos necesarios para la realización de las mismas.





Las acciones a nivel operativo deben asegurar que las tareas de mantenimiento se lleven a cabo correctamente por los técnicos seleccionados, en el tiempo acordado, siguiendo los procedimientos reseñados y utilizando las herramientas adecuadas.

## **Etapa 2: Jerarquización de equipos:**

Una vez que se han definido los objetivos, las responsabilidades y se ha diseñado una estrategia de mantenimiento, resulta de vital importancia separar los activos físicos de la organización en base a su criticidad, es decir, a su mayor o menor impacto en el sistema productivo global y/o seguridad del sistema (objetivos del negocio). Para lograr esto se puede clasificar los equipos en críticos (C) / semicríticos (SC) / no críticos (NC) en base a un método cualitativo-cuantitativo. Este método debe incluir datos objetivos que permitan generar una guía de criticidad cuantificada según: frecuencia de falla, impactos en producción (por falla), costos y tiempos de reparación, impactos en seguridad personal e impacto ambiental. En cuanto al factor cualitativo, este quedará de manifiesto a la hora de generar la escala o criterio para clasificar los resultados de cada ítem medible y la definición final de la jerarquización de criticidad.

El riesgo o criticidad se define como el producto de la frecuencia por la consecuencia de la falla. La frecuencia es el número de fallas en un tiempo determinado. Para cuantificar la consecuencia de la falla se utiliza la ponderación de varios factores o criterios de importancia en función de las necesidades de la organización .

### **Riesgo: Frecuencia x Consecuencia**

- Frecuencia: Número de Fallas en un tiempo determinado.
- Consecuencia: (Impacto Operacional x Flexibilidad) + Costos de Mantenimiento + Impacto (Seguridad – Ambiente).

Una vez que los activos están jerarquizados en base a su criticidad, se obtiene la Matriz de Criticidad (Figura 12).

**MATRIZ DE CRITICIDAD**

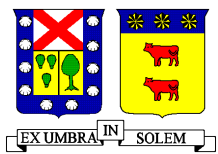
|            |   |              |    |    |    |    |    |   |
|------------|---|--------------|----|----|----|----|----|---|
| FRECUENCIA | 1 | SC           | SC | C  | C  | C  | C  | C |
|            | 2 | SC           | SC | SC | C  | C  | C  | C |
|            | . | NC           | SC | SC | SC | C  | C  | C |
|            | . | NC           | NC | SC | SC | SC | C  | C |
|            | . | NC           | NC | NC | SC | SC | C  | C |
|            | . | NC           | NC | NC | SC | SC | C  | C |
|            | N | NC           | NC | NC | NC | SC | SC | C |
|            |   | 1            | 2  | .  | .  |    |    | M |
|            |   | CONSECUENCIA |    |    |    |    |    |   |

Figura 12: Matriz genérica de criticidad. Fuente: P. Viveros, et al., 2013, p.131.

### **Etapas 3: Análisis de puntos débiles en equipos de alto impacto:**

El siguiente paso consiste en realizar una inspección técnica-visual a detalle de todos los equipos clasificados como críticos en la instalación. Los equipos semi críticos serán inspeccionados someramente, con un menor nivel de detalle, mientras que los activos no críticos, no requieren ser inspeccionados, permitiendo que operen hasta que tenga lugar la falla. La inspección previa de los equipos C y SC permitirá conocer el estado actual de operación de los equipos, deficiencias en su funcionamiento, entorno de operación y toda la información relevante para determinar las necesidades específicas de mantenimiento.

En el caso de los equipos críticos, se recomienda previamente al desarrollo de los planes de mantenimiento, realizar un análisis de causa raíz o ACR de los fallos repetitivos y crónicos (según el histórico de los equipos) cuya frecuencia de aparición pueda considerarse excesiva. El



ACR es una metodología que permite identificar de forma sistemática las causas raíces primarias de las fallas, para aplicar posteriormente soluciones que las eliminen de forma definitiva. Las causas de las fallas pueden clasificarse en fallas físicas, humanas o latentes/organizacionales. Las fallas físicas son la razón por la cual el equipo falla, es decir, la explicación técnica de la falla. Las fallas humanas, se refieren a los errores humanos, ya sean de acción u omisión, que dan lugar a fallas físicas. Las fallas latentes/organizacionales se refieren a las deficiencias organizacionales y de gestión que derivan en errores humanos y convierten en crónicas las fallas de sistemas y procedimientos, al no ser corregidos a tiempo.

En general, un árbol lógico de ACR comienza con la definición del evento inicial (ej. problema crónico de rodillos en cintas transportadoras), seguidamente se determinan los modos de falla (eje dañado, cojinete bloqueado, sellos dañados, banda dañada, rodillos doblados, cojinetes calientes), posteriormente se pasa al nivel de hipótesis (grasa solidificada en el rodamiento) y finalmente se llega al nivel de causas (exceso de grasa, etc.).

#### **Etapa 4. Diseño de planes de mantenimiento y recursos necesarios:**

El diseño de los planes de mantenimiento preventivo se puede dividir en dos partes fundamentales:

- Recopilación de datos y análisis de información de los equipos a analizar. En esta parte se determinan las distintas funciones de cada equipo en su entorno operacional. Luego, se analizan las fallas asociadas a dichas funciones y los modos de falla o eventos que preceden a dichas fallas. Por último y solo si fuese necesario, se analizan las causas raíces de las fallas que lo requieran. Con todos estos datos recopilados, se realiza una evaluación de las consecuencias de cada falla en términos de operación, seguridad, medio ambiente y costo.
- Elección de tareas preventivas (técnicamente factibles y económicamente rentables). En esta fase se establecen las tareas preventivas para cada modo de falla o causa raíz, incluyendo la frecuencia a la cual deben desarrollarse, el responsable de ejecutarla y los riesgos de aplicarlas. .

Luego, en base a dichas recomendaciones finales, se deberá proceder a la redacción del plan o estrategia de mantenimiento propuesta para la instalación, asignando los recursos necesarios para ello. La implantación del programa de mantenimiento preventivo permitirá anticiparse a los fallas para subsanarlas con el mínimo impacto en el funcionamiento del sistema, eliminando las causas de algunos fallos e identificando aquellos fallas que no comprometan la seguridad del sistema.

### **Etapa 5. Programación del mantenimiento y optimización en la asignación de recursos:**

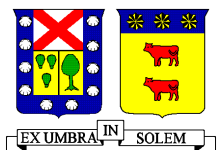
Esta etapa contempla realizar una programación detallada de todas las actividades de mantenimiento, teniendo en cuenta las necesidades de producción en relación al tiempo y al costo de oportunidad que conlleva ejecutar las actividades mencionadas. La programación de las tareas de mantenimiento debe optimizar la asignación de recursos tanto humanos como materiales, minimizando el impacto en la producción. La programación del mantenimiento debe efectuarse a corto (< 1 año), medio (1-5 años) y largo plazo (> 5 años).

### **Etapa 6. Evaluación y control de la ejecución del mantenimiento:**

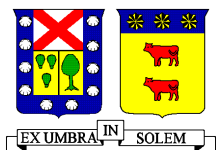
En esta etapa se debe evaluar y controlar la ejecución de las actividades de mantenimiento ya diseñadas, planificadas y programadas, con el fin de lograr los objetivos de negocio y los valores estipulados para los KPIs de mantenimiento. El control de la ejecución permitirá realimentar y optimizar el diseño de los planes de mantenimiento mejorando de esta manera su eficacia y eficiencia. En esta parte toma relevancia el diseño del sistema de información, el cual debe recoger y procesar los datos precisos que lleven a lograr el aumento de la eficacia y la disminución de los costos. Para esto los datos deben ser útiles y fiables, lo cual requiere que el diseño de las órdenes de trabajo y otros documentos de captación de datos sean estándar y fáciles de entender para los operarios y mantenedores de los activos.

### **Etapa 7. Análisis del ciclo de vida y de la posible renovación de equipos:**

Esta etapa permitirá evaluar cuantitativamente la conveniencia de renovar los equipos o realizar cambios de diseño. Para esto se requiere de la cuantificación de los costos globales, los cuales constituyen todos aquellos costos generados durante el ciclo de vida de un proyecto o instalación. La definición de los costos globales permitirá analizar las distintas alternativas de



equipos y configuraciones del sistema de forma que la alternativa técnica más recomendable será aquella que minimice el costo global.



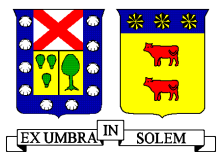
## 4.7. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)

### 4.7.1. Descripción y origen de la metodología RCM

Una de las estrategias más utilizadas en la industria para el diseño de estrategias y planes de mantenimiento es la denominada RCM. Este método es de amplia utilización ya que permite determinar convenientemente las necesidades de mantenimiento de cualquier activo físico en su entorno de operación. También se ha definido como un método que identifica las funciones de un sistema y la forma en que esas funciones pueden fallar, estableciendo a priori tareas de mantenimiento preventivas aplicables y efectivas (P. Viveros, et al., p.133, 2013).

“La metodología RCM o Reliability Centered Maintenance (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad), es una disciplina lógica que permite el desarrollo de programas de mantenimiento efectivos que maximicen la confiabilidad de equipos complejos a mínimo costo”. (N. Nowlan y F.Heap, p.459, 1978).

Esta metodología fue publicada en 1978 por F. Stanley Nowlan y Howard F. Heap, para el departamento de defensa de Estados Unidos, quien había solicitado a la empresa United Airlines un completo informe sobre los procesos utilizados en la industria de la aviación civil para el desarrollo de programas de mantenimiento para aviones. El informe presentado por Nowlan y Heap llevó por título Reliability Centered Maintenance (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad).



“Estos programas se llaman programas de mantenimiento centrado en confiabilidad, ya que se centran en el logro de las capacidades de seguridad y confiabilidad inherentes<sup>2</sup> de equipos a un costo mínimo” (N. Nowlan y F.Heap, pp. 3-4, 1978).

El éxito alcanzado por RCM, llevó a ampliar su aplicación más allá de la aviación civil y del campo militar, llegando sus conceptos y metodologías a industrias tan distintas como las de la energía nuclear, petrolera y manufacturera. Sin embargo, con el tiempo surgieron metodologías que, aunque se hacían llamar RCM, guardaban poca o nula relación con el documento original presentado por Nowlan y Heap. Debido a esto, la Engineering Society For Advancing Mobility Land Sea Air and Space (SAE), publicó, en 1999, la norma SAE JA 1011, que establecía los criterios que cualquier proceso debía cumplir para ser considerado como RCM. Luego, en 2002, SAE publicó la norma SAE JA 1012, que amplificaba y clarificaba términos y conceptos claves utilizados en RCM.

---

<sup>2</sup> Se refiere al nivel de confiabilidad de un ítem o equipo alcanzable con un efectivo programa de mantenimiento. Este nivel no puede superar la capacidad inicial del activo establecida por su diseño y el modo en que fue fabricado.



#### 4.7.2. Las 7 preguntas de la metodología RCM

La metodología de análisis RCM se basa en la formulación de siete preguntas que permiten identificar las necesidades reales de mantenimiento de los activos en su contexto operacional (ver Tabla 3).

|   |  |
|---|--|
| 1 | ¿Cuáles son las funciones que debe cumplir el activo y cuál es el desempeño esperado en su actual contexto operacional definido? |
| 2 | ¿De qué forma puede fallar completa o parcialmente el equipo?  |
| 3 | ¿Cuál es la causa origen del fallo funcional?  |
| 4 | ¿Qué sucede cuando ocurre un fallo?  |
| 5 | ¿Cuál es la consecuencia de cada fallo?  |
| 6 | ¿Qué se puede hacer para prevenir o predecir la ocurrencia de cada fallo funcional?  |
| 7 | ¿Qué puede hacerse si no es posible prevenir o predecir la ocurrencia del fallo funcional?                                       |

*Tabla 3: Las 7 preguntas de la metodología RCM. Fuente: Viveros et al., 2013, p. 133.*

Las primeras tres preguntas permiten determinar las funciones, fallas y causas raíces de las fallas presentes en los activos bajo estudio. Las preguntas cuatro y cinco, analizan los efectos y consecuencias para la organización una vez ocurridas las fallas. Y por último, las preguntas 6 y 7 buscan determinar las tareas de mantenimiento que permitan eliminar o mitigar los efectos y consecuencias de esas fallas.

Una vez seleccionadas las actividades de mantenimiento consideradas más eficientes, se establecerán las recomendaciones finales del análisis RCM y se llevará a cabo su implementación. A partir de dichas recomendaciones finales, se deberá proceder a la redacción del plan o estrategia de mantenimiento propuesta para la instalación, con su respectiva asignación de recursos. La implementación del plan de mantenimiento permitirá anticiparse a los fallos para subsanarlos con el mínimo impacto en el funcionamiento del sistema, eliminar las causas de

algunos fallos e identificar aquellos fallos que no comprometan la seguridad del sistema (P. Viveros, et al., 2013).

### 4.7.3. Conformación del equipo RCM

Para responder las siete preguntas básicas del proceso RCM se necesita contar con personas ligadas tanto a la operación como al mantenimiento de los activos bajo estudio. En relación a esto, Moubray (2004) señala esta revisión debiese ser llevada por pequeños grupos donde, a lo menos, se incluya una persona de mantenimiento y una de operaciones, donde lo más importante sea un conocimiento profundo acerca del activo en cuestión.

La conformación típica de un grupo de revisión RCM se presenta en la Figura 13. Estos grupos, no solo permiten traspasar los conocimientos y experiencias de cada miembro hacia la gerencia, sino también un traspaso de información entre los mismos miembros del grupo logrando un marcado incremento de su entendimiento acerca del activo físico y de su contexto operacional.



Figura 13: Conformación típica de un grupo RCM. Fuente: Moubray, 2004, p. 17.

Los grupos de revisión RCM trabajan bajo la guía de especialistas en RCM llamados facilitadores, cuya función es asegurar que:

- ✓ El análisis RCM se realice al nivel correcto, se defina claramente los límites del sistema bajo estudio, que no se deje fuera ningún ítem relevante y que los resultados sean debidamente registrados.
- ✓ El RCM sea claramente comprendido y correctamente aplicado por los miembros del grupo.
- ✓ El grupo llegue al consenso de forma rápida y ordenada, manejando la motivación individual de los miembros.
- ✓ El análisis progrese convenientemente rápido y termine a tiempo.

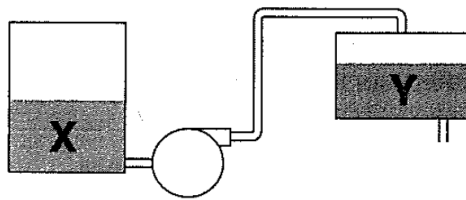
#### 4.7.4. Funciones y parámetros de funcionamiento

El primer paso de un proceso RCM, es definir las funciones de cada activo en su contexto operacional, junto con los parámetros de funcionamiento deseados. Según RCM, se entiende por función aquello que el propietario o usuario, quiere que el activo físico realice (J. Moubray, 2004).

Para definir una función se debe contar con un **verbo**, un **objeto** y un **estándar de funcionamiento** deseado. El verbo describe la acción que se espera que realice el activo, el objeto describe el elemento en el que se debe actuar y el estándar de funcionamiento determina el parámetro medible que se debe cumplir al realizar la acción.

Por ejemplo, en la Figura 14 se presenta un sistema de bombeo simple, consistente en un estanque X, una bomba de agua y un estanque Y. Si la bomba es capaz de bombear hasta 1000 litros de agua por minuto, imaginemos que lo que le interesa al dueño de la instalación, es que el sistema bombee no menos de 800 litros de agua por minuto. Entonces, la función del sistema de

bombeo del ejemplo quedaría definida como: Bombear (verbo) agua (objeto) del tanque X al tanque Y, a no menos de 800 litros por minuto (estándar de funcionamiento).



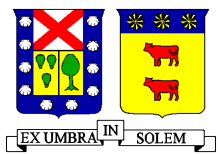
#### Sistema de Bombeo

La bomba puede entregar hasta 1000 litros por minuto, sin embargo, el dueño de la instalación espera obtener al menos 800 litros por minuto. Por lo tanto, el estándar mínimo de funcionamiento será de 800 litros por minuto.

Figura 14: Ejemplo de sistema de bombeo. Fuente: Elaboración propia.

Las funciones se dividen en dos categorías: primarias y secundarias. La(s) función(es) primaria(s) constituyen la razón principal por la cual el activo o sistema fue adquirido por el propietario o usuario. Dada su importancia se deben definir tan precisamente como sea posible. La(s) función(es) secundaria(s) son funciones adicionales a la(s) funciones primarias del activo que pueden estar relacionadas con el cumplimiento de requerimientos de carácter regulatorio, de protección, control, contención, confort, apariencia, integridad estructural y eficiencia energética.

Nota: Para listar las funciones de un elemento (ya sea un sistema, sub-sistema o componente de un activo) se utilizan números arábigos: 1, 2, 3, ..., etc.



#### 4.7.5. Fallas funcionales

RCM define una falla funcional como la “incapacidad de cualquier activo físico de cumplir una función según un parámetro de funcionamiento aceptable para el usuario” (J. Moubray, 2004, p. 50).

Una falla funcional puede ser total o parcial. Cuando la falla funcional es total, la función del activo se pierde completamente; cuando la falla funcional es parcial, el activo seguirá funcionando pero fuera de los límites admisibles. Tomando el ejemplo anterior del sistema de bombeo, si la función del sistema era “bombear agua del tanque X al tanque Y, a no menos de 800 litros por minuto”, las fallas funcionales del sistema podrían ser:

- A. “El sistema no bombea nada de agua” (Falla funcional total)
- B. “El sistema bombea agua a menos de 800 litros por minuto” (Falla funcional parcial).

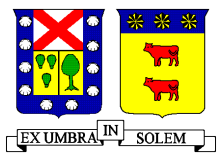
Una pérdida parcial de función casi siempre proviene de modos de falla<sup>3</sup> diferentes de los que provocan una pérdida total, y las consecuencias casi siempre son diferentes. Por esta razón deben registrarse todas las fallas funcionales asociadas a cada función.

En relación al párrafo anterior, se mencionan las siguientes observaciones:

- ✓ Los estándares de funcionamiento pueden tener límites superiores e inferiores, lo cual significa que el activo habrá fallado cuando funcione por arriba del límite inferior o por debajo del superior. En esos casos las fallas asociadas a cada límite, deberán tratarse por

---

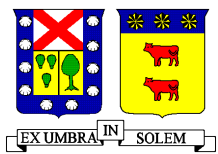
<sup>3</sup> Los modos de falla se definen como eventos singulares que causan una falla funcional.



separado puesto que sus modos de falla (causas de falla) y consecuencias de falla suelen ser distintas.

- ✓ La definición exacta de falla de un activo dependerá en gran medida de su contexto operacional, por lo que se debe ser cuidadoso de no generalizar fallas funcionales, incluso cuando los activos analizados sean idénticos.

Nota: Para listar las fallas de un elemento (ya sea un sistema, sub-sistema o componente de un activo) se utilizan se utilizan letras en mayúsculas: A, B, C,..., etc.



## 4.7.6. Modos de falla

### 4.7.6.1. Definición de modo de falla

Según los creadores de la metodología RCM (S. Nowlan y H. Heap) un modo de falla es:

“La forma específica de falla; las circunstancias o secuencia de eventos que conducen a una falla funcional particular” (S. Nowlan y H. Heap, p. 457, 1978).

Por su parte la norma SAE-JA1011 define modo de falla como:

“Un evento único que causa una falla funcional” (SAE-JA1011, p.5, 1999).

Nota: La definición de modo de falla que se utilizará en este trabajo será la proporcionada por la norma SAE-JA1011.

### 4.7.6.2. Como listar los modos de falla

La mejor manera de mostrar la conexión y diferencia entre los estados de falla y los eventos que podrían causarlos es primero hacer un listado de fallas funcionales, y luego registrar los modos de falla que podrían causar cada falla funcional (J. Moubray, 2004, p. 56).

Utilizando el ejemplo del sistema de bombeo, se presenta en la Figura 15 un listado típico de funciones, fallas funcionales y modos de falla de un proceso RCM.

| SISTEMA DE BOMBEO |  |   |   |
|-------------------|--|---|---|
| Función           |  | Falla Funcional<br>(Pérdida de Función)     | Modo de Falla<br>(Causa de la falla)  |
| 1                 | Bombear agua desde el tanque X al tanque Y a no menos de 800 litros/minuto | A Incapaz de bombear agua.                  | 1 Cojinetes agarrotados<br>2 Impulsor trabado por un cuerpo extraño<br>3 Motor quemado<br>4 ...etc. |
|                   |  | B Bombea agua a menos de 800 litros/minuto. | 1 Impulsor gastado<br>2 Línea de succión parcialmente bloqueada<br>3 ..etc.                         |

Figura 15: Ejemplo de listado de modos de falla típico. Fuente: Elaboración propia.

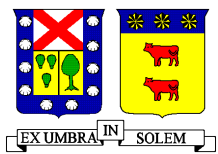
La descripción de un modo de falla debe consistir de un sustantivo y un verbo. Esta descripción debe ser lo suficientemente detallada para poder seleccionar una estrategia de manejo de falla adecuada, sin embargo, es importante no tomarse demasiado tiempo durante el proceso de análisis (J. Moubray, 2004).

El sustantivo señala el componente del activo que se encuentra en falla y el verbo el estado en que se encuentra dicho componente. En el ejemplo de la Figura 15, el modo de falla “cojinetes agarrotados” señala que la falla “incapaz de bombear agua” puede deberse a que los cojinetes (sustantivo) se encuentran agarrotados (verbo).

Los verbos que se usan para describir los modos de falla deben elegirse cuidadosamente, ya que tienen una influencia muy fuerte en el proceso posterior de selección de políticas de manejo de falla. Por ejemplo, deben usarse con moderación expresiones como “falla” o “rotura” o “mal funcionamiento de”, ya que dan muy poca información sobre cuál podría ser la manera adecuada de manejar esta falla. El uso de verbos más específicos permite seleccionar la política más adecuada dentro de un rango completo de posibilidades (J. Moubray, 2004, p. 57).

Nota: Los modos de falla deben ser aplicados a nivel de componente, es decir aplicarse al elemento mínimo al cual es posible aplicar una tarea de mantenimiento (unidad mínima





mantenible). Para listar los modos de falla de un componente se utilizan números arábigos: 1, 2, 3,..., etc. (Figura 15).

#### 4.7.6.3. Importancia del análisis de los modos de falla

Según J. Moubray (2004) el análisis de los modos de falla es importante debido a que diariamente el mantenimiento se maneja a nivel de modo de falla, lo cual se puede corroborar dado que:

- ✓ Las órdenes de trabajo de una empresa relacionadas con mantenimiento, surgen para cubrir modos (causas) de falla específicos.
- ✓ La programación del mantenimiento diario, también se realiza para tratar modos (causas) de falla específicos.
- ✓ Las reuniones del personal de mantenimiento de una compañía suelen consistir en discusiones para definir qué ha fallado, qué causó la falla, quién es el responsable, qué se está haciendo para reparar el problema y, a veces, qué puede hacerse para prevenir que vuelva a suceder. Por lo tanto, gran parte de la reunión se destina a analizar modos (causa) de falla.
- ✓ Generalmente, los sistemas de registro de historia técnica registran modos (causas) de falla individuales.

El correcto análisis de los modos de falla de un activo o sistema permitirá generar actividades y estrategias proactivas que minimicen las consecuencias de esos modos de falla. Para comprender lo anterior, en la Figura 16, se muestra un ejemplo de los modos de falla de un impulsor de una bomba centrífuga. En negritas se aprecian los modos de falla del impulsor, mientras que en cursivas se presentan las acciones proactivas que pueden minimizar las consecuencias de esos modos de falla.

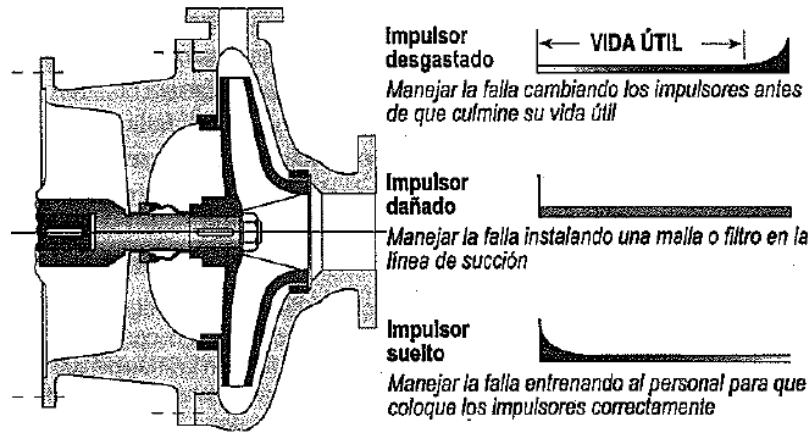


Figura 16: Modos de falla y tareas proactivas. Fuente: J. Moubray, 2004, p. 59.

El primer caso de la Figura 16 el modo de falla “impulsor desgastado”, se relaciona con la edad del impulsor, por lo tanto, si se conoce, aproximadamente, la vida útil del componente, se podría prevenir la falla cambiando el impulsor justo antes del final de su vida útil (siempre y cuando las consecuencias de ese modo de falla sean suficientemente serias).

En el segundo caso de la Figura 16 el modo de falla “impulsor dañado”, puede deberse a la presencia de un cuerpo extraño en la línea de succión. En ese caso la falla seguiría un patrón aleatorio que no se podría predecir. No obstante, si las consecuencias del modo de falla son suficientemente serias, y si la falla ocurriese de manera frecuente, se podría prevenir la falla modificando el sistema, instalando algún tipo de filtro o pantalla en la línea de succión (cambio de diseño).

En el tercer caso de la Figura 16 el modo de falla “impulsor suelto” puede deberse simplemente a que no fue bien colocado por el personal de mantenimiento. En ese caso, se podría prevenir la falla mejorando el entrenamiento o los procedimientos correspondientes.

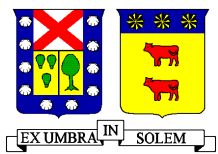
#### 4.7.6.4. Nivel de detalle de los modos de falla

“Los modos de falla deben ser definidos con el detalle suficiente como para posibilitar la selección de una adecuada política de manejo de falla” (J. Moubray, 2004, p. 68).

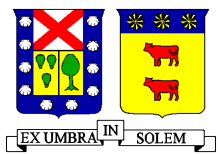
En la práctica, puede resultar muy difícil encontrar un nivel de detalle adecuado para los modos de falla, sin embargo, es muy relevante encontrarlo, puesto que afecta directamente la validez del análisis y el tiempo requerido para llevarlo a cabo.

J. Moubray (2004) declara que para lograr un nivel de detalle óptimo de los modos de falla es necesario tener en cuenta los siguientes factores:

- Causalidad: Si bien, las causas de una falla funcional pueden definirse a casi cualquier nivel de detalle, sólo se deben considerar los modos de falla que estén dentro del control de la organización, de modo de poder generar políticas adecuadas para el manejo de la falla. Por otro lado se debe tener cuidado cuando se presentan fallas por errores humanos, dado que, en la mayoría de los casos, estos no son la causa raíz del problema, sino una consecuencia de un mal diseño de los activos o de los procedimientos de operación y mantenimiento.
- Frecuencia de falla: Sólo se deben listar los modos de falla que tienen posibilidades razonables de ocurrir en un contexto determinado. Para lograr determinar modos de falla que sean racionalmente probables se tiene que tener en consideración las fallas que han ocurrido en el mismo activo o en activos similares y cualquier otro modo de falla que no haya ocurrido todavía, pero que tenga posibilidades reales de suceder.



- Consecuencias: Si las consecuencias de un modo de falla pueden ser realmente severas, se debe registrar los modos de fallas aunque su frecuencia de falla sea más baja.
- Causas v/s efectos: Cuando se listan los modos de falla, se debe tener cuidado de no confundir los modos de falla con los efectos de falla. Por ejemplo, se podría determinar que el modo de falla de una caja de engranajes que no acciona, sea el desgaste de los dientes de los engranajes, siendo que en realidad ese desgaste es un efecto de un bajo nivel de aceite en el sistema de lubricación de la caja, el cuál sería el verdadero modo de falla.
- Contexto operacional: Se debe tener presente el contexto operacional del activo. Por ejemplo una turbina de gas utilizada en un avión jet tendrá modos de falla muy distintos a los que tendrá una turbina idéntica usada como motor principal de una plataforma de petróleo.



#### 4.7.7. Efectos de falla

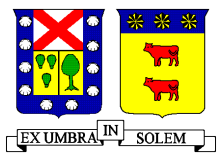
El cuarto paso de un proceso RCM consiste en hacer una lista de lo que sucede al ocurrir cada modo de falla listado (efectos de falla).

“Los efectos de falla describen qué pasa cuando ocurre un modo de falla” (J. Moubray, 2004, p.76).

“Los efectos de falla deben describir lo que puede pasar si no se realiza ninguna tarea específica para anticipar, prevenir o detectar la falla” (SAE, 2002, p. 20).

Puntualmente los efectos de falla deben describir los siguientes aspectos:

- Evidencia (si la hubiera) de que se ha producido la falla.
- Las maneras (si las hubiera) en que la falla supone una amenaza para la seguridad o medio ambiente.
- Las maneras (si las hubiera) en que afecta a la producción o a las operaciones.
- Los daños físicos (si los hubiera) causados por la falla.
- Qué debe hacerse para reparar la falla.



#### 4.7.7.1. Efectos de evidencia de falla

Estos efectos describen todos los sucesos que evidencian la ocurrencia de una falla en circunstancias normales. La idea es detectar si la falla resulta evidente o se trata de una falla oculta. Se entiende por falla oculta, aquella cuya ocurrencia, por sí sola, no resulta evidente para los operarios y/o mantenedores en circunstancias normales.

Notas:

- Que la falla ocurra por “sí sola” significa considerar que no está ocurriendo ninguna otra falla al mismo tiempo, por otro lado, que sea en “circunstancias normales” quiere significar considerar que no se está haciendo nada para detectar la evidencia de la falla. La temporalidad no es una variable a considerar para determinar si una falla es oculta.
- Si la pérdida de función tarde o temprano es detectada por los operadores como resultado directo e inevitable de la falla, la falla será evidente, sin importar el tiempo que pase entre la falla en cuestión y el momento en que se la descubre.

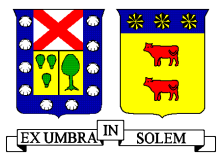
La descripción de la evidencia de falla debe indicar:

- Si la falla hace que se enciendan alarmas luminosas o de sonido (o ambas) y si el aviso se produce en el panel o en la sala de control (o ambos).
- Si la falla va acompañada o precedida por efectos físicos obvios, tales como ruidos fuertes, incendio, humo, fugas de vapor, olores extraños o manchas de líquido en el suelo.
- Si la máquina se detiene como consecuencia de la falla.
- Si el dispositivo en falla cuenta con un dispositivo de seguridad que elimine o reduzca los efectos de esa falla (alertando a los operadores en circunstancias anormales, deteniendo el equipo, eliminando o aliviando las condiciones anormales que siguen a la falla y que podrían ocasionar daños más serios, asumiendo el control de la función que ha fallado, previniendo que surjan situaciones peligrosas).

En el caso de que el modo de falla analizado corresponda a una falla oculta, lo más relevante es analizar si la falla puede ocurrir estando también en falla el dispositivo de seguridad asociado (si es que existe), esto se conoce como falla múltiple. Falla múltiple se define como “Un evento que ocurre si falla una función protegida mientras su dispositivo o sistema de protección se encuentra en estado de falla” (J. Moubray, 2004, p. 420).

“El objetivo de un programa de mantenimiento para una función oculta es prevenir la falla múltiple asociada, o al menos reducir las probabilidades de que ocurra” (J. Moubray, 2004, p. 118).

Por ejemplo, imaginemos un sistema de bombeo consistente en una bomba en funcionamiento y otra bomba en stand by. La primera bomba representa la función protegida, mientras que la bomba en stand by representa la función protectora, puesto que sólo entrará en funcionamiento en



caso de que falle la primera bomba. En este caso, sólo ocurrirá una falla múltiple si la primera bomba se encuentra en falla estando también en falla la bomba en stand by.

Dado lo anterior, es necesario especificar dentro de los efectos de evidencia de falla:

- La frecuencia o probabilidad con que puede ocurrir una falla múltiple.
- Qué ocurre si se produce una falla múltiple.

#### *4.7.7.2.Efectos en la seguridad y medio ambiente*

“...si existe una posibilidad de que alguien se lesione o muera como consecuencia directa de una falla, o que se infrinja una normativa o reglamento del medio ambiente, la redacción del efecto de falla debe explicar cómo esto podría ocurrir” (J. Moubray, 2004, p.78).

Se deben mencionar todos aquellos efectos que puedan afectar la seguridad o salud de personas y todos aquellos efectos que puedan infringir normativas de cuidado al medio ambiente.

Aspectos a considerar son:

- Incremento del riesgo de incendio o explosiones.
- Escape de productos químicos peligrosos (gases, líquidos, o sólidos).
- Electrocutación.
- Caída de objetos.
- Explosiones o estallidos (especialmente recipientes presurizados y sistemas hidráulicos).
- Exposición a materiales fundidos.
- Descomposición de grandes componentes rotativos.



- Descarrilamientos o accidentes vehiculares.
- Exposición a objetos cortantes o máquinas en movimiento.
- Incremento de los niveles de ruido.
- Colapso de estructuras.
- Crecimiento bacteriano.
- Ingreso de suciedad en productos alimenticios o farmacéuticos.
- Inundaciones

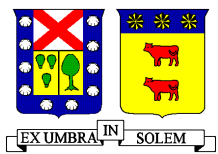
#### 4.7.7.3. Efectos operacionales

La descripción de los efectos de falla debe aportar la máxima claridad posible para determinar cuáles son las consecuencias operacionales y no operacionales de la misma, especificándose cómo se ve afectada la producción y durante cuánto tiempo se extienden estos efectos (J. Moubray, 2004, p.79).

El tiempo de parada debe considerar el tiempo total de indisponibilidad de la máquina, desde el momento en que se produce la falla hasta el momento en que la máquina vuelve a estar operativa. En la Figura 17 se muestra la diferencia entre tiempo de parada de máquina y el tiempo de reparación, donde el primero incluye al segundo como un elemento más.



Figura 17: Tiempo de parada v/s tiempo de reparación. Fuente: J. Moubray, 2004.



Nota: Si existen más de un tiempo de parada para un mismo modo de falla, se debe registrar el peor caso probable, es decir, el tiempo de parada mayor siempre y cuando tenga una probabilidad razonable de ocurrir.

Además del tiempo de parada, se debe registrar cualquier otro efecto significativo en la capacidad operacional del activo. Algunos ejemplos pueden ser:

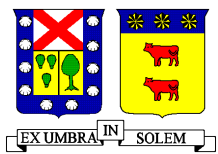
- Cómo y cuánto afecta la calidad del producto y el servicio al cliente, y de ser así, qué costos provoca.
- Si origina la detención de otro equipo u actividad.
- Si conlleva un aumento en el costo operativo total, debido a costos directos e indirectos.
- Daños secundarios (si los hubiera).

#### 4.7.7.4. *Efectos no operacionales*

“Los efectos de falla también deben incluir qué debe hacerse para reparar la falla. Esto debe incluirse cuando se indica el tiempo muerto” (J. Moubray, 2004, p.81).

Los tiempos muertos o de parada deben ser los que necesitaría actualmente la organización para reparar la falla analizada.

En este trabajo se incluirán como parte de las acciones correctivas, el detalle de los repuestos involucrados (con su marca y modelo), los costos de repuestos, el costo de la mano de obra necesaria y el tiempo de parada (indisponibilidad) aproximado en horas.

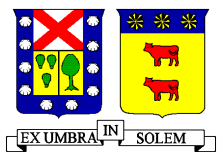


#### 4.7.8. Consecuencias de falla

Después que se ha identificado cada modo de falla y sus efectos a un nivel de detalle adecuado, el siguiente paso en el proceso RCM es evaluar las consecuencias de cada modo de falla. La fuente primordial de información para evaluar las consecuencias de falla es la descripción de los efectos de falla (SAE, 2002).

La naturaleza y severidad de los efectos de falla rigen la manera en que cada modo de falla es visto por la organización. El impacto preciso en cada caso depende del contexto operacional del activo, los estándares de desempeño que aplican a cada función, y los efectos físicos de cada modo de falla.

Esta combinación de contexto, estándares y efectos implica que todo modo de falla tiene un conjunto específico de consecuencias asociadas a él. Si las consecuencias son muy serias, entonces se deberán hacer esfuerzos considerables para prevenir el modo de falla, o por lo menos anticiparlo en el tiempo de modo de reducir o eliminar las consecuencias. Por otro lado, si el modo de falla sólo tiene consecuencias menores, es posible que la mejor alternativa sea no tomar ninguna acción proactiva y simplemente corregir el modo de falla cada vez que ocurra.



#### 4.7.9. Selección de tareas de mantenimiento

Una vez establecidas las consecuencias de cada modo de falla, se deben seleccionar las tareas de mantenimiento que permitan reducir (evitar, eliminar o minimizar) dichas consecuencias. Estas tareas pueden ser tareas preventivas, tareas predictivas, tareas de búsqueda de fallas, operar hasta fallar o cambio de especificaciones (cambios de diseño).

Además, es necesario que las tareas seleccionadas sean técnicamente factibles y valgan la pena realizarlas. A continuación se establecerá que significa que una tarea sea técnicamente factible y que valga la pena realizarla. Luego se analizará con mayor profundidad cada una de las tareas de mantenimiento mencionadas en el párrafo anterior. Por último se presentarán las dos aproximaciones para seleccionar las tareas de mantenimiento (diagramas de decisión y aproximación rigurosa), profundizando un poco más en la segunda aproximación.

##### 4.7.9.1. *Técnicamente factible y valen la pena hacerlo*

“Todas las tareas programadas deben ser técnicamente factibles y deben valer la pena hacerlas (aplicables y efectivas)” (SAE, 1999, p.7).

En relación a la primera exigencia, Moubrey (2004) señala que: “Una tarea programada es técnicamente factible si es físicamente posible para la tarea reducir, o permitir tomar una acción que reduzca, las consecuencias del modo de falla asociado al punto que el propietario o usuario del activo pueda aceptar” (p. 421).

En cuanto a la segunda exigencia, la norma SAE JA1012 señala que cualquier tarea programada valdrá la pena hacerla sólo si reduce (evita, elimina o minimiza) las consecuencias del modo de falla a una magnitud que justifique los costos directos e indirectos de realizar la tarea (SAE, 2002).

Para fallas ocultas, merece la pena realizar una tarea proactiva si asegura la disponibilidad necesaria para reducir la probabilidad de una falla múltiple a un nivel tolerable.

En el caso de que no se pueda hallar una tarea programada apropiada y las consecuencias del modo de falla no sean aceptables por el dueño o usuario del activo, será necesario buscar otra manera de manejar las consecuencias de la falla (SAE, 2002).

#### 4.7.9.2. Tareas preventivas

Uno de los principales factores a considerar para seleccionar cualquier política de manejo de fallas es la relación entre la longevidad (o exposición al esfuerzo) y la falla. En este sentido existen seis conjuntos de maneras en las cuales la probabilidad condicional de falla varía a medida que un elemento envejece (Figura 18).

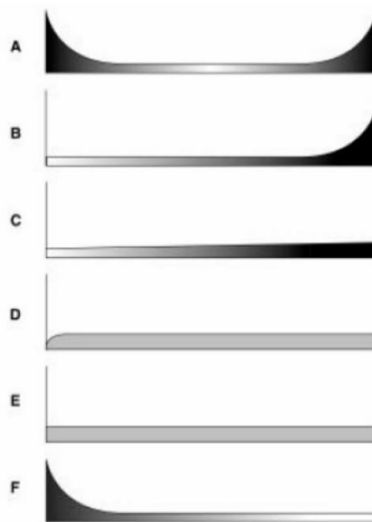
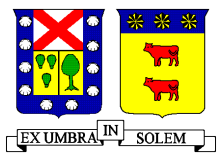


Figura 18: Patrones de falla relacionadas con la edad. Fuente: SAE, 2002, p. 27.



La característica que comparten los patrones A y B es que ambos muestran un punto en el que hay un rápido incremento de la probabilidad condicional de falla. El patrón C tiene un incremento constante de la probabilidad de falla, pero no muestra una zona de desgaste definida. El patrón D muestra una probabilidad condicional de falla baja cuando el elemento es nuevo o recién comprado, para luego pasar a un incremento rápido hacia un nivel que crece lento o constante. En cuanto al patrón E se observa una probabilidad condicional de falla constante durante toda la longevidad (falla aleatoria). Por último el patrón F, comienza con una alta mortalidad infantil, cayendo a un decrecimiento constante o muy bajo de la probabilidad condicional de falla.

En general, los patrones de falla relacionados con la edad se aplican a componentes muy simples, o a componentes complejos que sufren de un modo de falla dominante. En la práctica, comúnmente se los encuentra bajo condiciones de desgaste directo (mayormente cuando el equipo entra en contacto directo con el producto). También se les asocia con fatiga, corrosión, oxidación y evaporación (Moubray, 2004, p. 137).

Bajo ciertas circunstancias, existen dos opciones preventivas para reducir la incidencia de este tipo de modos de falla, estas son las tareas de reacondicionamiento cíclico y las tareas de sustitución cíclica.

- El **reacondicionamiento cíclico** "...consiste en reacondicionar la capacidad del elemento o componente antes o en el límite de edad definido, independientemente de su condición en ese momento" (Moubray, 2004, p. 138).
- Las **tareas de sustitución cíclica** "...consisten en descartar un elemento o componente antes, o en el límite de edad definida, independiente de su condición en ese momento" (Moubray, 2004, p. 139).

Para determinar la frecuencia de una tarea de reacondicionamiento o sustitución cíclica, se debe establecer la edad en la que el elemento o componente muestra un rápido incremento en la probabilidad condicional de falla.

Para que la tarea de reacondicionamiento o sustitución cíclica sea técnicamente factible, se debe cumplir lo siguiente:

- ✓ Debe haber un punto en el que haya un incremento de la probabilidad condicional de falla (en otras palabras el elemento debe tener una “vida útil”).
- ✓ Debemos estar razonablemente seguros acerca de la duración de esta vida.
- ✓ La mayoría de los elementos deben sobrevivir a esa edad.
- ✓ El reacondicionamiento cíclico debe restaurar la resistencia original a la falla del activo físico, o al menos algo que se aproxime lo suficiente a la condición original como para asegurar que el elemento continúe siendo capaz de cumplir la función deseada por un período de tiempo razonable.

#### 4.7.9.3. Tareas predictivas

Moubray (2004) señala que aunque muchos modos de falla no se relacionan con la edad, la mayoría de ellos presenta alguna advertencia de que están en proceso de ocurrir, o de que están por ocurrir. Si puede encontrarse evidencia de que un elemento está a punto de fallar, es posible actuar para prevenir que falle completamente y/o evitar las consecuencias de esa falla.

En la Figura 19 se presenta la curva P-F, la cual muestra lo que sucede en las etapas finales de la falla. En esta curva se presentan tres puntos, el primero da cuenta del instante en que inicia la falla, el segundo punto, o punto P, representa el instante en que es posible encontrar evidencia de que la falla está ocurriendo (falla potencial), finalmente el tercer punto, o punto F, muestra el instante en el que, ocurre la falla funcional.

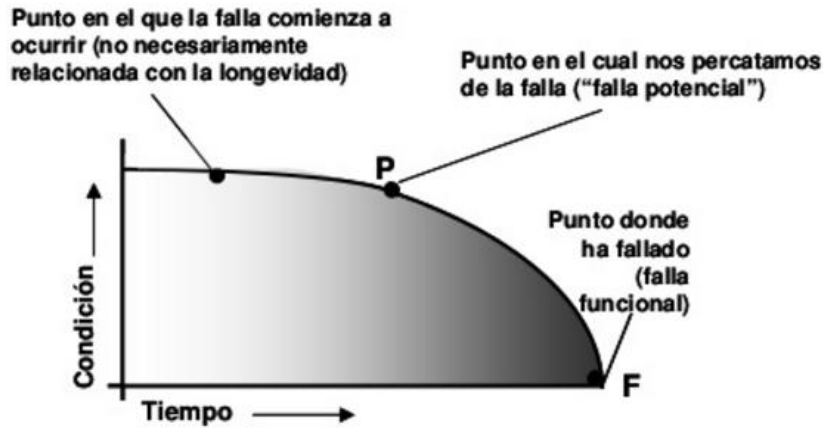


Figura 19: Curva P-F. Fuente: SAE, 2002, p. 34.

“Una falla potencial es un estado identificable que indica que una falla funcional está a punto de ocurrir o en el proceso de ocurrir” (Moubray, 2004, p. 148).

Ejemplos de fallas potenciales pueden ser puntos calientes que denotan deterioro de la aislación eléctrica, vibraciones que indican la falla inminente de un cojinete, grietas que muestran la fatiga del metal, partículas en el aceite de una caja de engranajes que revelan la falla inminente de los engranajes, desgaste excesivo de los neumáticos, entre otros.

Si se detecta una falla potencial, entre el punto P y el punto F de la Figura 19, es posible actuar para prevenir o evitar las consecuencias de la falla funcional. Las tareas que permiten detectar fallas potenciales se conocen como tareas predictivas o tareas a condición.

Para poder establecer las tareas predictivas, es necesario conocer el intervalo de tiempo que transcurre entre el punto en el cual es posible detectar una falla potencial (punto P) y el punto en el cual se produce la falla funcional (punto F), este intervalo se conoce como intervalo P-F (Figura 20).



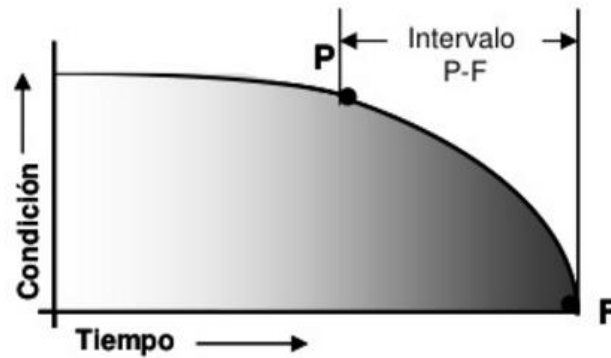


Figura 20: Intervalo P-F. Fuente: SAE, 2002, p. 34.

En relación al intervalo entre las revisiones (tareas predictivas), la norma SAE JA1012, señala:

En la práctica los intervalos de las tareas siempre se deben seleccionar para ser más cortos que el más corto intervalo P-F probable. En la mayoría de los casos, es suficiente seleccionar un intervalo de tarea igual a la mitad del intervalo P-F. Sin embargo, algunas veces es apropiado seleccionar intervalos de tarea que sean alguna otra fracción del intervalo P-F. Esto se puede regir por el intervalo neto requerido o puede ser porque el usuario del activo tiene datos históricos relevantes que dictaminan que una fracción diferente es apropiada (SAE, 2002, p. 35).

El intervalo neto P-F, es el mínimo intervalo probable que transcurre entre la detección de la falla potencial y la ocurrencia de la falla funcional. Esto se ilustra en la Figura 21, donde se observa un proceso de falla con un intervalo P-F de nueve meses. Se observa que si el elemento es revisado mensualmente, el intervalo neto P-F es de ocho meses, mientras que si es revisado semestralmente, el intervalo P-F pasa a ser de tres meses.

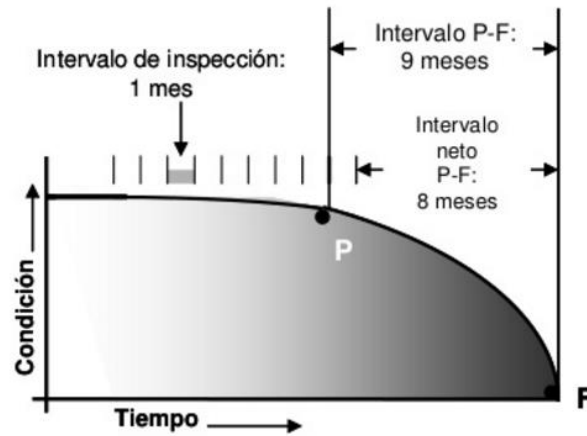


Figura 21: Intervalo neto P-F. Fuente: SAE, 2002, p. 35.

Si bien en la práctica, el intervalo neto P-F varía ampliamente, en general se desean intervalos P-F mayores por dos razones:

1. Es posible hacer cualquier cosa que permita evitar las consecuencias del modo de falla (incluyendo la planeación de la acción correctiva) de una forma más considerada y controlada.
2. Se requieren menos inspecciones predictivas.

Otro punto importante a considerar, es la consistencia del intervalo P-F. En la realidad, este intervalo varía en un amplio rango de valores para un mismo modo de falla, tal como se observa en la Figura 22.

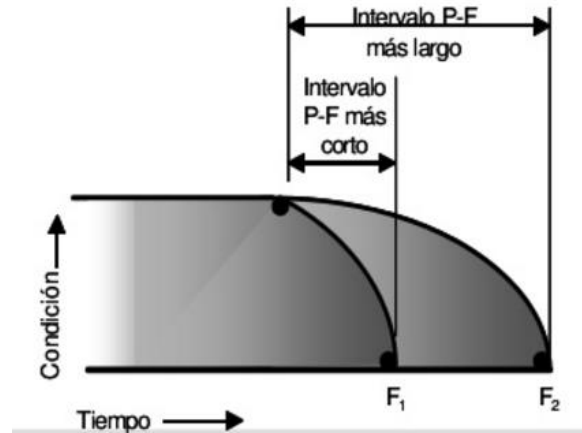
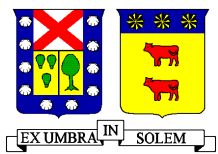


Figura 22: Intervalos P-F inconsistentes. Fuente: SAE, 2002, p. 38

Por esta razón, el intervalo de la tarea predictiva, tiene que ser equivalente al menor de los intervalos P-F más cortos. De esta manera se asegura un grado razonable de certeza al detectar la falla potencial antes de que esta se convierta en funcional. En el caso de que el intervalo P-F sea muy inconsistente, no será posible establecer un intervalo de tarea significativo, y se deberá desechar la tarea para encontrar otra manera de manejar el modo de falla.

Las tareas predictivas o a condición son técnicamente factibles si:

- ✓ Es posible definir una condición clara de falla potencial.
- ✓ El intervalo P-F es razonablemente consistente.
- ✓ Resulta práctico monitorear el elemento a intervalos menores que el intervalo P-F.
- ✓ El intervalo P-F mínimo que es probable que ocurra (P-F neto) es lo suficientemente largo como para actuar a fin de reducir o eliminar las consecuencias de la falla funcional.



#### 4.7.9.4. Tareas de búsqueda de falla

Estas tareas consisten en chequear si algo todavía funciona. Por ejemplo cuando activamos la alarma de incendios periódicamente, en ese caso no estamos reacondicionando o reemplazando, ni tampoco la estamos reparando (Moubray, 2004).

Las tareas de búsqueda de fallas se aplican sólo a las fallas ocultas o no reveladas, las cuales a su vez sólo afectan a los dispositivos de protección, es decir dispositivos que permiten reducir las consecuencias de las fallas de otros equipos (por ejemplo una bomba en stand by).

A su vez, las tareas cíclicas de búsqueda de falla consisten en chequear una función oculta a intervalos regulares para ver si esta ha fallado.

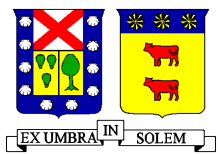
Una tarea de búsqueda de falla es técnicamente factible si:

- ✓ Es posible realizar la tarea.
- ✓ La tarea no incrementa el riesgo de falla múltiple.
- ✓ Es práctico realizar la tarea al intervalo requerido.

#### 4.7.9.5. Operar hasta fallar

Este tipo de tareas sólo es válida si:

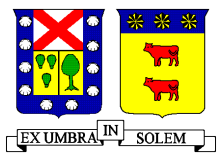
- ✓ En casos donde la falla sea oculta y no se encuentre ninguna tarea programada adecuada, donde la falla múltiple asociada no tenga consecuencias para la seguridad o el medio ambiente.
- ✓ En casos donde la falla sea evidente y no se encuentre ninguna tarea programada adecuada, donde el modo de falla no tenga consecuencias para la seguridad o el medio ambiente.



#### 4.7.9.6. Cambios de especificaciones o cambios de diseño

La norma SAE JA1012 (2002) afirma que el proceso RCM se esfuerza en obtener el desempeño deseado del sistema, tal y como como está configurado y operado en la actualidad, aplicando tareas programadas apropiadas. Sin embargo, en los casos en que tales tareas no estén disponibles, pueden ser necesarios cambios del activo o sistema, basándose en los siguientes criterios:

- En los casos donde la falla sea oculta, y la falla múltiple asociada tenga consecuencias para la seguridad y el medio ambiente, serán mandatorios cambios de especificaciones que reduzcan la probabilidad de una falla múltiple a un nivel tolerable para el dueño o usuario del activo.
- En los casos donde el modo de falla sea evidente y tenga consecuencias en la seguridad y el ambiente, serán mandatorios cambios de especificaciones que reduzcan la probabilidad de una falla múltiple a un nivel tolerable para el usuario o dueño del activo.
- En casos donde el modo de falla sea oculto y la falla múltiple asociada no tenga consecuencias en la seguridad ni medio ambiente, cualquier cambio de especificaciones deberá ser costo-efectivo en opinión del dueño o el usuario del activo.
- En casos donde el modo de falla sea evidente y no tenga consecuencias en la seguridad ni el medio ambiente, cualquier cambio de especificaciones deberá ser costo-efectivo en opinión del dueño o el usuario del activo.



Según SAE (2002) la capacidad inicial (o confiabilidad inherente) de cualquier activo es establecida según su diseño y el modo en que es fabricado, por lo que el mantenimiento no puede producir confiabilidad más allá de la inherente en el diseño. Esto lleva a dos conclusiones:

- Primero, si la capacidad inicial del activo es mayor que el desempeño deseado, el mantenimiento debe ayudar a lograr el desempeño deseado. La mayoría de los equipos están debidamente especificados, diseñados y ensamblados, por lo que normalmente es posible desarrollar programas de mantenimiento satisfactorios.
- Segundo, si el desempeño deseado excede la capacidad inicial, entonces ninguna cantidad de mantenimiento podrá entregar el desempeño deseado. En estos casos se requiere ver más allá del mantenimiento para encontrar soluciones.

Los cambios de especificaciones o de diseño incluyen:

- ✓ Cambios en la configuración física del activo, tales como cambios en especificaciones de componentes, introducción de nuevos elementos, reemplazo de una máquina completa o re-localización de una máquina (nótese que si se aplica cualquiera de estos cambios será necesario a aplicar el RCM al nuevo diseño para asegurar que continúe la función para la cual es pretendido).
- ✓ Cambio de un proceso o procedimiento que afecta la operación del activo.
- ✓ Cambio en la capacidad de una de las personas involucradas en la operación o mantenimiento del equipo (esto normalmente vincula el entrenamiento de la persona involucrada como un método de tratar con un modo de falla específico).

#### 4.7.9.7. Aproximaciones para la selección de tareas de mantenimiento

Según la norma SAE JA 1012, existen dos aproximaciones para seleccionar las tareas de mantenimiento. La primera es una aproximación rigurosa y la segunda es una aproximación de diagrama de decisión.

La aproximación rigurosa es más completa y produce una política de manejo de fallas<sup>4</sup> totalmente costo-optimizada para tratar con cada modo de falla en el AMEF<sup>5</sup>. Los diagramas de decisión son más populares ya que son más rápidos y más económicos que la aproximación rigurosa. Sin embargo, cualquier enfoque de diagrama de decisión debe direccionar totalmente las consecuencias en la seguridad y en el ambiente de cada modo de falla. También se debe tener presente que el uso de diagramas de decisiones introduce un elemento de sub-optimización al proceso de selección de la política de manejo de fallas<sup>6</sup>, desde el punto de vista del costo (SAE JA1012, 2002, p.48).

La aproximación rigurosa requiere que los usuarios, al evaluar las consecuencias económicas y de seguridad y medio ambiente, consideren todas las tareas de mantenimiento que sean técnicamente factibles de aplicar a cada modo de falla, y seleccionar la tarea de mantenimiento que se ajuste más efectivamente tanto a las consecuencias económicas como las consecuencias de seguridad y medio ambiente.

---

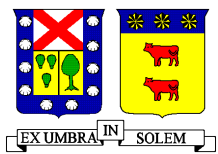
<sup>4</sup> Se refiere a todas las tareas de mantenimiento, es decir, preventivas, predictivas, búsqueda de falla, operar hasta fallar y cambios de especificaciones.

<sup>5</sup> Análisis de modos y efectos de falla.

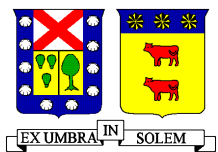
Este enfoque se aplica en las siguientes fases:

- a. Separar las fallas evidentes de las fallas ocultas.
- b. Para cada falla evidente:
  1. Establecer la probabilidad real de que el modo de falla pueda dañar o matar a alguien.
  2. Establecer la probabilidad tolerable de que el modo de falla pueda dañar o matar a alguien.
  3. Establecer la probabilidad real de que el modo de falla pueda violar un estándar o una regulación ambiental.
  4. Establecer la probabilidad tolerable de que el modo de falla pueda violar ese estándar o regulación.
  5. Establecer las consecuencias operacionales y no operacionales totales del modo de falla.
  6. En el caso de modos de falla que puedan tener consecuencias en la seguridad o en el medio ambiente, y en los que la probabilidad real de ocurrir en estas consecuencias es mayor que la probabilidad tolerable, la identificación de todas las políticas de manejo de fallas podría reducir la probabilidad a un nivel tolerable.
  7. Identificar todas las políticas de manejo de fallas (si existen) que puedan ser menos costosas que las consecuencias económicas del modo de falla cuando se comparan en el mismo período de tiempo.
  8. Seleccionar la política de manejo de fallas que se ajuste más costo-efectivamente a las consecuencias económicas y en la seguridad y medio ambiente del modo de falla.
- c. Para cada falla oculta:
  1. Establecer la probabilidad real de que la falla múltiple asociada pueda dañar o matar a alguien.
  2. Establecer la probabilidad tolerable de que la falla múltiple pueda dañar o matar a alguien.





3. Establecer la probabilidad real de que la falla múltiple pueda violar un estándar o una regulación ambiental.
4. Establecer la probabilidad tolerable de que la falla múltiple pueda violar ese estándar o regulación.
5. Establecer las consecuencias operacionales y no operacionales totales del modo de falla y de la falla múltiple asociada.
6. En el caso de modos de falla que puedan tener consecuencias en la seguridad o en el medio ambiente, y en los que la probabilidad real de ocurrir en estas consecuencias es mayor que la probabilidad tolerable, la identificación de todas las políticas de manejo de fallas podrían reducir la probabilidad de la falla múltiple a un nivel tolerable.
7. Identificar todas las políticas de manejo de fallas (si existen) que podrían ser menos costosas que las consecuencias económicas del modo de falla y de la falla múltiple combinadas cuando se comparan en el mismo período de tiempo.
8. Seleccionar la política de manejo de fallas que se ajuste más costo-efectivamente a las consecuencias económicas y en la seguridad y medio ambiente del modo de falla y de la falla múltiple.



#### 4.7.10. Implementación RCM

Una vez que se ha completado el análisis RCM con sus respectivas actualizaciones, se deben implementar los resultados. Para una implementación exitosa se deben tener en consideración cuatro pasos claves:

1. Auditoría RCM: toda recomendación debe ser aprobada formalmente (auditada) por los gerentes responsables de los activos. Esta auditoría se debe llevar a cabo en el contexto del análisis RCM.
2. Descripciones de trabajos programados: las tareas resultantes del análisis RCM, deben ser descritas con el nivel de detalle suficiente para asegurar que la tarea sea ejecutada correctamente por la persona designada para ello.
3. Cambio de especificaciones: todos los cambios de especificaciones recomendados deben ser descritos con suficiente detalle para asegurar que serán implementados correctamente.
4. Planificación y ejecución de las tareas programadas: las tareas se deben organizar en bloques de trabajo ejecutables. Estos bloques de trabajo deben ser desarrollados por las personas correctas en el momento justo y de la manera adecuada. Para esto se requerirá un sistema de programación y planificación apropiado.

## 5. METODOLOGÍA

Para desarrollar el análisis RCM, se comenzará por la descripción de los simuladores de vuelo y de los sistemas de aire acondicionado bajo estudio. En el caso de los sistemas de aire acondicionado, la descripción incluirá un levantamiento de los equipos, análisis de la configuración lógica funcional y análisis de las fallas ocurridas entre los años 2011 y 2014.

Se definirán aspectos relevantes a considerar, tales como, el equipo humano que realizará el análisis, criterios para determinar la criticidad de los modos de falla y diseño de la planilla dónde se exhibirán los resultados.

Posteriormente, se presentarán los resultados con las tareas de mantenimiento propuestas para minimizar las consecuencias de los modos de falla detectados. Estas tareas serán sometidas a un análisis de factibilidad técnica y conveniencia económica, para así asegurar que sean aplicables y efectivas.

Luego, se realizará una evaluación del diseño funcional de cada sistema, de manera de establecer los cambios de diseño requeridos para asegurar adecuados niveles de confiabilidad y disponibilidad.

Las tareas de mantenimiento y cambios de diseño propuestos, serán agrupados en distintas alternativas de inversión, las cuales serán sometidas a un análisis de costo global para así determinar la alternativa de menor costo en el horizonte de evaluación a definir.

Finalmente, se presentará una propuesta de modelo de gestión de mantenimiento para asegurar la mejora continua.

## 6. DESARROLLO DEL ANÁLISIS RCM

### 6.1. Descripción de los simuladores de vuelo

Estos simuladores son del tipo Full Flight Simulator (o FFS) de nivel D certificado, lo cual significa que poseen el máximo nivel de realismo respecto a un modelo de avión determinado.

Entre sus principales sistemas se encuentran:

- Sistema con plataforma móvil de seis grados de libertad, es decir, con la capacidad de moverse en un espacio de tres dimensiones, con tres movimientos de rotación (cabeceo, alabeo y guiñada) y tres movimientos lineales (delante/atrás, arriba/abajo e izquierda/derecha).
- Sistema de visión con tres canales de proyección y ángulo de visión de 180° aproximadamente.
- Sistema de control de fuerzas, dinámicas y de recorrido de los controles que corresponden a la aeronave.

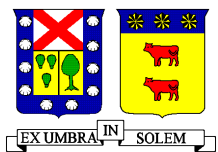
En la Figura 23 se presenta una fotografía del simulador A-320-2. En la parte inferior de la fotografía se aprecia la plataforma hidráulica, con la cual se emulan los movimientos reales de un avión Airbus A320-2.



Figura 23: Simulador A320-2. Fuente: Fotografía tomada en la instalación por autor de esta memoria (2015).

Para simular las aceleraciones de un avión real, las plataformas se inclinan y se mueven, a través de movimientos controlados conocidos como “acceleration onset cueing”. Estos movimientos ocurren en tres fases y permiten engañar los sentidos del piloto, recreando de manera exacta las cargas de fuerza que ocurrirían en un avión real. Lo anterior, es además reforzado con un sistema visual, consistente en tres proyectores que forman una pantalla curva con un grado visual de 180°, y un sistema de audio de gran realismo.

Además, estos simuladores incluyen dentro de la cabina una estación para el instructor, dónde puede crear rápidamente cualquier situación anormal o de emergencia, como: falla de motores, mal funcionamiento del tren de aterrizaje, fallas eléctricas y electrónicas, condiciones meteorológicas adversas (tormentas eléctricas, nieve, hielo, etc.), riesgo de colisión con otras aeronaves, fuego a bordo, entre muchas otras.

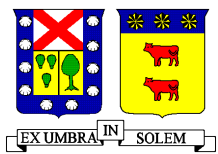


En cuanto a su contexto operacional, los simuladores constituyen el principal negocio de la empresa especialista y requieren estar disponibles los 365 días del año con un promedio de uso de 20 horas diarias.

Por otro lado, las detenciones por fallas en estos dispositivos generan costos de ineficiencia de aproximadamente USD 500<sup>7</sup> por cada hora de detención, siendo estos costos asumidos por la empresa especialista.

---

<sup>7</sup> Este valor fue entregado por el Jefe de Mantenimiento de la empresa especialista.



## 6.2. Descripción y antecedentes de los sistemas de aire acondicionado

Tal como se mencionó inicialmente, este trabajo ha sido desarrollado para una importante empresa de facility, la cual presta servicios de mantenimiento de instalaciones para una destacada aerolínea internacional. Dentro de los múltiples sistemas que debe mantener la empresa de facility, se encuentran los sistemas de aire acondicionado de los simuladores de vuelo, ubicados en una de las instalaciones de la aerolínea.

Para la empresa de facility, los sistemas de aire acondicionado de los simuladores son considerados sistemas críticos, puesto que su falla históricamente ha generado costos globales para su cliente directo (aerolínea) y cliente indirecto (empresa especialista, dueña de los simuladores de vuelo), lo cual ha incidido negativamente en la percepción del servicio prestado, poniendo en riesgo la continuidad del negocio.

Es por esta razón que el presente análisis se ha enfocado en los sistemas de aire acondicionado de los simuladores de vuelo, con la finalidad de generar una propuesta concreta de mantenimiento que permita asegurar la máxima disponibilidad de estos sistemas a mínimo costo global.

Para iniciar el análisis se describirán cada uno de los sistemas de aire acondicionado de los simuladores, incluyendo un levantamiento de los equipos, configuración lógica funcional de los sistemas y un análisis histórico de la disponibilidad de los simuladores junto a los costos globales asociados.

## 6.2.1. Sistema de aire acondicionado de simulador A320-1

### 6.2.1.1. Levantamiento de equipos sistema de aire acondicionado A320-1

Este sistema está conformado por dos torres de enfriamiento, tres equipos compactos y un equipo de precisión. En la Tabla 4 se presenta el levantamiento de los equipos del sistema.

| Ítem | Nombre de equipo           | Marca     | Modelo / N° de parte               | N° Serie      | Año fabricación | Ubicación                        | Refrigerante |
|------|----------------------------|-----------|------------------------------------|---------------|-----------------|----------------------------------|--------------|
| 1    | Torre de enfriamiento 1    | Sulzer    | EWK036 06 C12                      | 6205001A      | -               | Terraza sur edificio antiguo     | No utiliza   |
| 2    | Torre de enfriamiento 2    | Sulzer    | EWK036 06 C12                      | 6205001B      | -               | Terraza sur edificio antiguo     | No utiliza   |
| 3    | Compacto bahía A320-1      | Trane     | WCH200BD00GA                       | 731100708D    | 2007            | Terraza sur edificio antiguo     | R-22         |
| 4    | Equipo de precisión A320-1 | Stulz     | 2004                               | 0530040838/01 | 2004            | Sala servidores edificio antiguo | 407-C        |
| 5    | Compacto Morrison A320-1   | Morrison  | N° Parte CAE:<br>PS345590-04-S-832 | -             | -               | Bahía sur edificio antiguo       | R-22         |
| 6    | Compacto Emergencia        | Sin marca | No aplica                          | -             | -               | Bahía sur edificio antiguo       | R-22         |

Tabla 4: Levantamiento de equipos sistema de aire acondicionado simulador A320-1.



A continuación se explica brevemente la función de cada equipo o sub-sistema:

- Torres de enfriamiento 1 y 2: mantener la temperatura del agua de la unidad HPU del simulador A320-1 a no más de 50°C. La unidad HPU provee la energía hidráulica necesaria para que el simulador pueda moverse.
- Compacto bahía A320-1: climatizar la bahía del simulador A320-1 a una temperatura de 20°C, para así dar apoyo al equipo de aire acondicionado principal (equipo compacto Morrison).
- Equipo de precisión A320-1: inyectar aire frío en racks de servidores informáticos del simulador A320-1 a una temperatura de 17°C y a un caudal de 14.000 m<sup>3</sup>/h.
- Compacto Morrison A320-1: enfriar los circuitos eléctricos y electrónicos del simulador, a una temperatura de inyección de entre 7°C y 12°C. Este es el principal equipo de aire acondicionado del simulador A320-1.
- Compacto de emergencia: servir de equipo de respaldo al equipo compacto Morrison A320-1, en caso de que este se encuentre en falla.

### 6.2.1.2. Configuración lógica-funcional sistema de aire acondicionado A320-1

En la Figura 24 se presenta la configuración lógica-funcional del sistema:

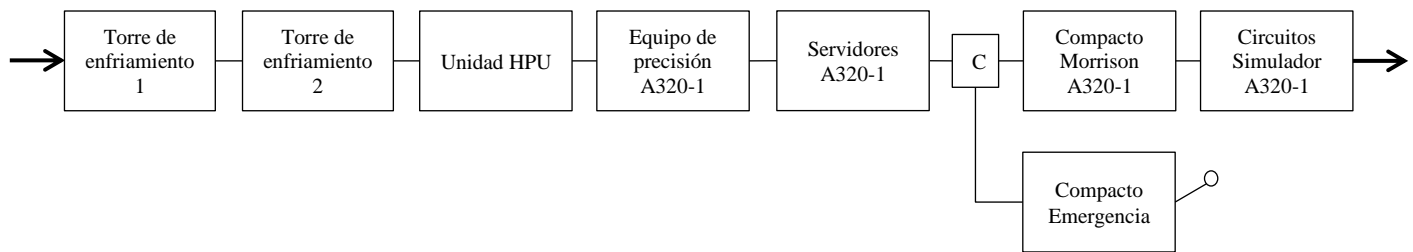
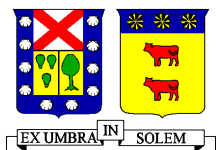


Figura 24: Configuración lógico-funcional sistema de aire acondicionado de simulador A320-1.



De la Figura 24 se observa lo siguiente:

- Dentro de la configuración lógica-funcional no está considerado el equipo compacto bahía, puesto que su falla no genera la detención del simulador (este equipo sólo sirve de apoyo al equipo compacto Morrison).
- El sistema está configurado casi totalmente en serie, por lo que la falla de cualquiera de sus equipos (a excepción del compacto de bahía) puede generar la detención del simulador.
- Existe un equipo compacto de emergencia, el cual se encuentra en stand-by. Este equipo puede ser conectado al sistema en caso de falla del equipo compacto Morrison. El conmutador “C” representa al técnico operador, el cuál demora aproximadamente 30 minutos en instalar el equipo de emergencia, una vez detectada la falla.

Nota: El equipo compacto de emergencia no cuenta con una turbina de inyección lo suficientemente potente para inyectar aire al caudal requerido por el simulador. Por esta razón, es necesario utilizar la misma turbina de inyección del equipo compacto Morrison.

### 6.2.1.3. Disponibilidad y costos globales 2011-2014, sistema aire acondicionado A320-1

Para calcular la disponibilidad y los costos de falla asociados, fue necesario generar una base de datos a partir de tres fuentes de información:

1. Histórico de detenciones 2011-2014 de los simuladores. Esta información fue proporcionada por la empresa especialista.
2. Histórico de reparaciones correctivas de mantención 2011-2014. Esta información fue proporcionada por la empresa de facility.
3. Histórico de fallas de los equipos de aire acondicionado 2012-2015. Esta información fue proporcionada por personal técnico de la empresa de facility.

En la Tabla 5 se presenta la disponibilidad del simulador A320-1, de acuerdo al histórico de fallas 2011-2014. El UP Time, indica la cantidad de horas al año que el simulador A320-1 estuvo disponible, mientras que el Down Time indica la cantidad de horas al año que el simulador estuvo detenido debido a fallas en los equipos de aire acondicionado. Para el cálculo del Up-Time se estableció un valor de funcionamiento del simulador de 18 horas al día los 365 días del año.

|                       | 2011           | 2012           | 2013            | 2014           |
|-----------------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|
| Up Time (Horas)       | 6559           | 6560           | 6570            | 6568           |
| Down Time (Horas)     | 11             | 10             |                 | 2              |
| <b>Disponibilidad</b> | <b>99,833%</b> | <b>99,848%</b> | <b>100,000%</b> | <b>99,970%</b> |

Tabla 5: Disponibilidad 2011-2014, Simulador A320-1

En relación a la Tabla 5, podemos observar que durante los cuatro años analizados, el simulador A320-1 presentó una alta disponibilidad (mayor al 99,8% durante los 4 años analizados), dónde, incluso, en el año 2013 no se presentaron detenciones del simulador por fallas en el sistema de aire acondicionado. El Down Time o tiempo de no producción del simulador, por fallas del sistema de aire acondicionado, fue de un total de 23 horas, generando costos de

ineficiencia (para la empresa especialista) por un total de \$8,8 millones durante los cuatro años analizados. Por otro lado, durante el mismo tiempo de análisis, las reparaciones de los equipos de aire acondicionado generaron costos por un total de \$20,2 millones, siendo este costo asumido por la aerolínea. En la Figura 25 se presenta el detalle de los costos globales del sistema de aire acondicionado del simulador A320-1 entre los años 2011 y 2014.

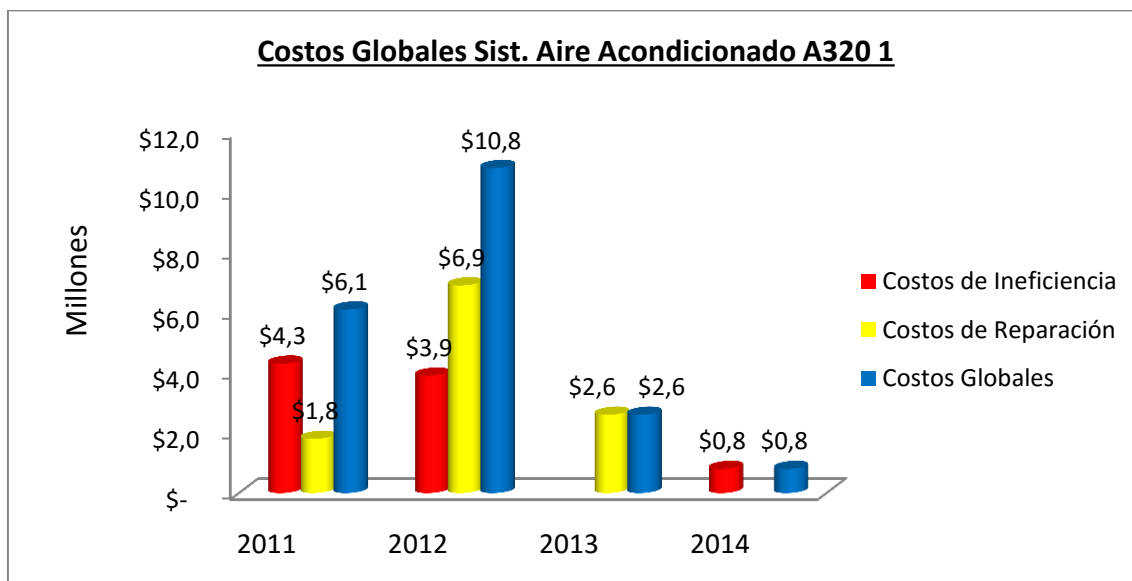


Figura 25: Costos globales sistema aire acondicionado A320-1, 2011-2014.

De la Figura 25 se aprecia que los mayores costos globales del sistema de aire acondicionado del A320-1 se presentaron en los años 2011 y 2012, con costos de ineficiencia de \$4,2 y 3,9 millones y costos de reparación por \$1,8 millones y \$6,9 millones respectivamente. Por otro lado, durante los años 2013 y 2014 se observa una disminución de los costos de falla, con costos de ineficiencia por \$0 y \$0,8 millones; y costos de reparación por \$2,6 y 0\$ millones. Todos estos costos se debieron principalmente a fallas del equipo compacto Morrison A320-1 y de las torres de enfriamiento 1 y 2. En las Figuras 26 y 27 se presentan las fallas y costos de fallas asociados a estos equipos durante los años 2011-2014.

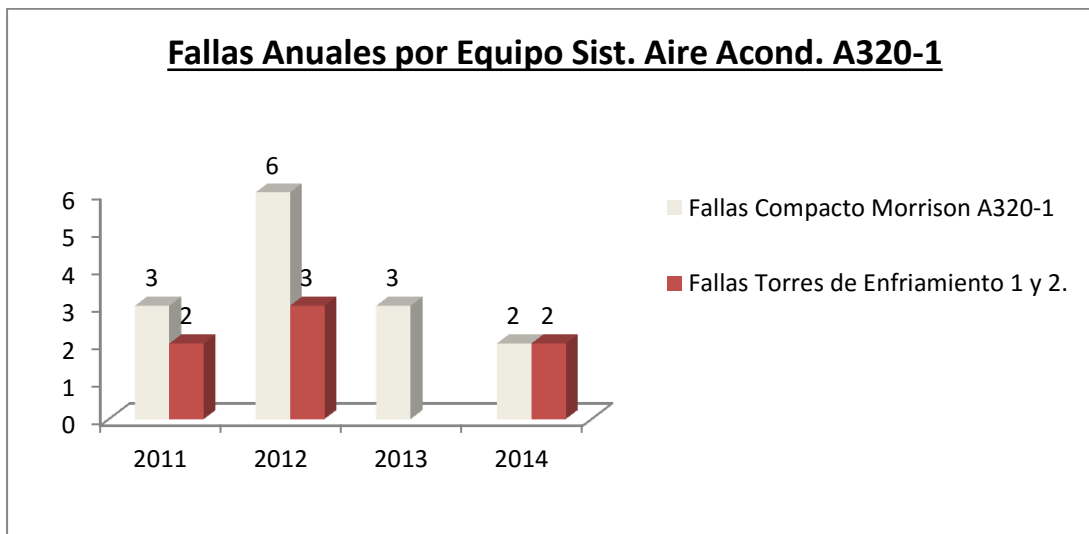


Figura 26: Fallas anuales por equipo 2011-2014, sistema de aire acondicionado A320-1.

De la Figura 26 se observa que el equipo compacto Morrison A320-1, presentó la mayor cantidad de fallas entre los años 2011-2014, con un promedio de 3,5 fallas al año. Es necesario aclarar, que las fallas ocurridas durante el año 2013 correspondieron a fallas parciales, las cuales no generaron costos de ineficiencia pero sí provocaron costos por reparación por un total de \$2,6 millones.

En el caso de las torres de enfriamiento, estas promediaron 1,75 fallas al año. Además, en el año 2013, no se registraron fallas de estos equipos.

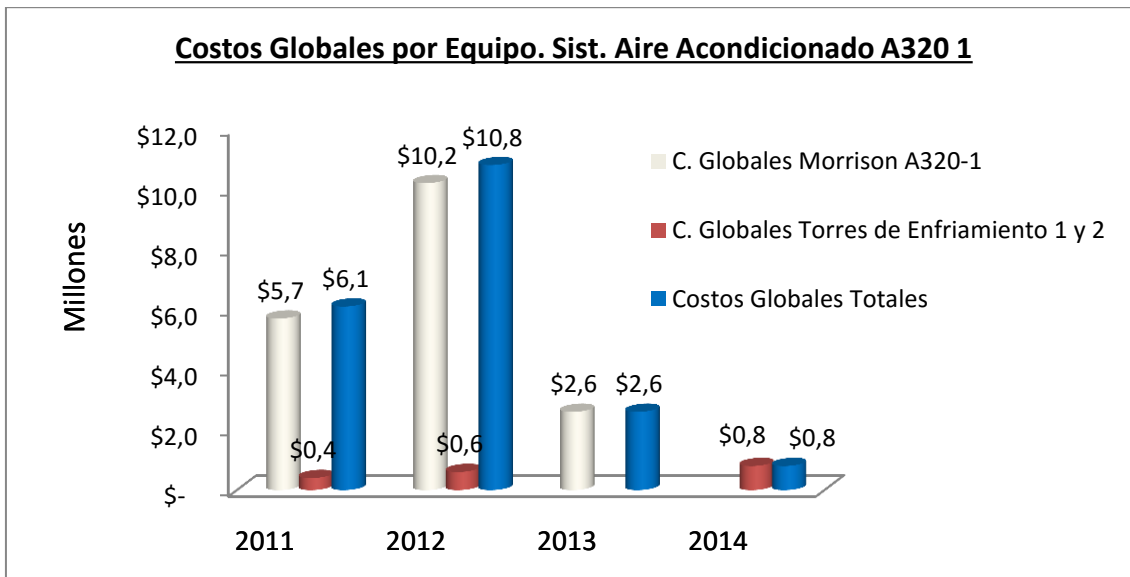


Figura 27: Costos globales por equipo sistema aire acondicionado A320-1.

En relación a los costos globales por equipo (Figura 27), se observa que el equipo Compacto Morrison A320-1, generó los mayores costos globales, con un máximo de \$10,2 millones en el año 2012. Sin embargo, se aprecia una importante disminución de estos costos durante los años 2013 y 2014, registrándose un total de \$2,6 y \$0 millones respectivamente. En cuanto a las torres de enfriamiento 1 y 2, se aprecian costos de falla mucho menores (5% de los costos de falla del equipo Morrison), con un máximo de \$0,8 millones durante el año 2014 y un mínimo de \$0 durante el 2013.

## 6.2.2. Sistema de aire acondicionado simulador A320-2

### 6.2.2.1. Levantamiento de equipos sistema de aire acondicionado A320-2

Este sistema se encuentra conformado por una torre de enfriamiento, dos equipos compactos y un equipo de precisión. En la Tabla 6 se presenta el levantamiento de los equipos del sistema.

| Ítem | Nombre de equipo           | Marca    | Modelo / N° de parte            | N° Serie    | Año fabricación | Ubicación                        | Refrigerante |
|------|----------------------------|----------|---------------------------------|-------------|-----------------|----------------------------------|--------------|
| 1    | Torre de enfriamiento 3    | Sulzer   | EWK036A06 C2                    | 6205331     | -               | Terraza norte edificio antiguo   | No utiliza   |
| 2    | Compacto bahía A320-2      | Trane    | YCH250BDLOGAAAAJ                | BR0803S2225 | 2003            | Terraza norte edificio antiguo   | R-22         |
| 3    | Equipo de precisión A320-2 | Stulz    | -                               | -           | 1998            | Sala servidores edificio antiguo | 407-C        |
| 4    | Compacto Morrison A320-2   | Morrison | N° Parte CAE: PS345590-21-5-832 | -           | -               | Bahía norte edificio antiguo     | 410-A        |

Tabla 6: Levantamiento de equipos del sistema de aire acondicionado del simulador A320-2.

A continuación se explica brevemente la función de cada equipo o sub-sistema:

- Torre de enfriamiento 3: mantener la temperatura del agua de la unidad HPU del simulador A320-2 a no más de 50°C.
- Compacto bahía A320-2: climatizar la bahía dónde está instalado el simulador A320-2 a una temperatura de 20°C, para así dar apoyo al equipo de aire acondicionado principal (equipo compacto Morrison).
- Equipo de precisión A320-2: inyectar aire a una temperatura de 17°C y a un caudal de 8.300 m<sup>3</sup>/h, en racks de servidores del simulador A320-2 (sistema informático del simulador).
- Compacto Morrison A320-2: enfriar los circuitos electrónicos del simulador a una temperatura de inyección de entre 7°C y 12°C. Este es el principal equipo del sistema de aire acondicionado del simulador A320-2.

### 6.2.2.2. Configuración lógica-funcional sistema de aire acondicionado A320-2

En la Figura 28 se presenta la configuración lógica-funcional del sistema.

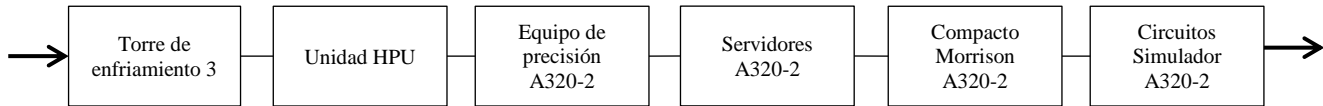


Figura 28: Configuración lógico-funcional sistema de aire acondicionado del simulador A320-2.

De la Figura 28 se observa lo siguiente:

- Dentro de la configuración lógica-funcional del sistema no está considerado el equipo compacto bahía, puesto que su falla no genera la detención del simulador (este equipo sólo sirve de apoyo al equipo compacto Morrison).
- El sistema está configurado en serie, por lo que la falla de cualquiera de sus equipos (a excepción del compacto de bahía) genera la detención del simulador A320-2.
- El sistema no cuenta con equipo de respaldo en caso de presentar falla el equipo compacto Morrison.



### 6.2.2.3. Disponibilidad y costos globales 2011-2014, sistema aire acondicionado A320-2

En la Tabla 7 se presenta la disponibilidad del simulador A320-2, de acuerdo al histórico de fallas 2011-2014.

|                       | 2011           | 2012           | 2013            | 2014           |
|-----------------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|
| Up Time               | 6556           | 6561           | 6570            | 6562           |
| Down Time             | 14             | 8,5            |                 | 8              |
| <b>Disponibilidad</b> | <b>99,787%</b> | <b>99,871%</b> | <b>100,000%</b> | <b>99,878%</b> |

Tabla 7: Disponibilidad 2011-2014, Simulador A320-2

De la Tabla 7 se aprecia que al igual como ocurrió con el A320-1, el simulador A320-2 presentó una alta disponibilidad (mayor al 99,7% durante los 4 años analizados), llegando a un 100% de disponibilidad en el año 2013. Sin embargo, también se registró Down Time o tiempo de no producción por fallas en el sistema de aire acondicionado del simulador, totalizándose 30,5 horas de Down Time durante los cuatro años analizados. Lo anterior generó costos de ineficiencia por aproximadamente \$12 millones. Además, durante ese mismo período de tiempo, se registraron costos de reparación por un total de \$10,8 millones. En la Figura 29 se presenta el detalle de los costos globales del sistema de aire acondicionado del simulador A320-2 durante los años 2011 y 2014.

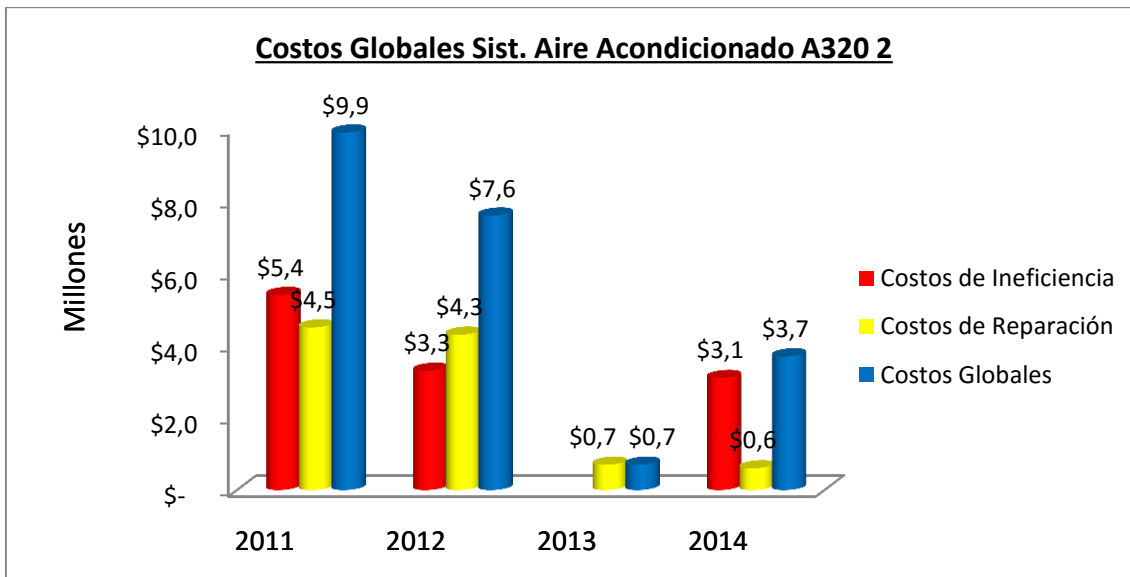


Figura 29: Costos globales 2011-2-014, sistema aire acondicionado A320-2.

De la Figura 29 se observa que los mayores costos globales del sistema se registraron en los años 2011 y 2012, con costos por \$9,9 y \$7,6 millones respectivamente. Los costos de ineficiencia promediaron \$3 millones al año con un máximo de 5,4 millones durante el año 2011 y un mínimo de 0\$ durante el 2013. En cuanto a los costos de reparación, el máximo se presentó en el año 2011 con \$4,5 millones, registrándose posteriormente una importante disminución durante los años 2013 y 2014, dónde se registraron costos de reparación por \$0,7 y \$0,6 millones respectivamente.

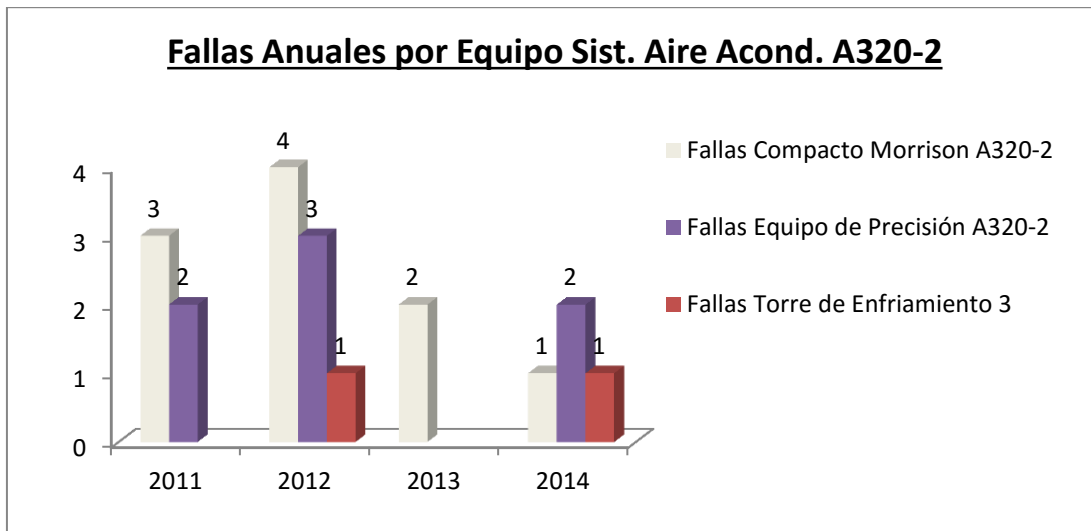


Figura 30: Fallas anuales por equipo 2011-2014, sistema de aire acondicionado A320-2.

De la Figura 30 se observa que el equipo compacto Morrison A320-2, presentó la mayor cantidad de fallas del sistema, con un máximo de 4 fallas durante el año 2012, promediando 2,5 fallas al año. Es importante mencionar que las dos fallas ocurridas el año 2013, correspondieron a fallas parciales del equipo, las cuales sólo generaron costos de reparación por \$0,7 millones.

Por otro lado, el equipo de precisión A320-2, fue el segundo con mayor número de fallas, registrando un máximo de 3 fallas durante el año 2012, con un promedio de 1,75 fallas al año.

Finalmente, la torre de enfriamiento 3, registró sólo dos fallas durante los años 2012 y 2014, respectivamente. Estas fallas también fueron de carácter parcial, siendo la falla del año 2012 la única que produjo costos de reparación por un total de \$1,1 millones.

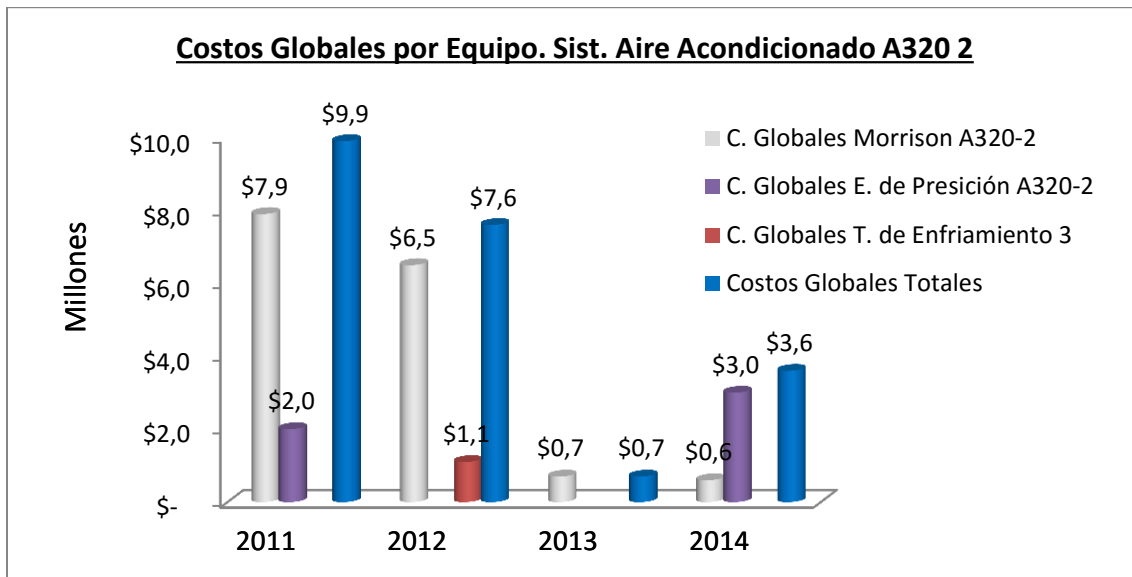


Figura 31: Costos globales por equipo sistema aire acondicionado A320-2.

De la Figura 31 se observa el equipo compacto Morrison A320-2 presentó los mayores costos globales durante los años 2011 y 2012, con \$7,9 y \$6,5 millones respectivamente. Posteriormente en los años 2013 y 2014 estos costos se redujeron a \$0,7 y 0,6 millones respectivamente.

En el caso del equipo de precisión A320-2, este presentó costos globales el año 2011 por \$2 millones, mientras que el 2014 presentó costos por \$3 millones, los cuales casi en su totalidad correspondieron a costos de ineficiencia.

Finalmente, la torre de enfriamiento 3, presentó los costos globales más bajos con \$1,1 millones en el año 2012 por costos de reparación del equipo.

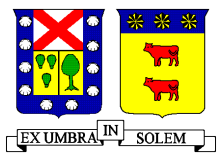
### 6.2.3. Sistema de aire acondicionado simulador B 787

#### 6.2.3.1. Levantamiento de equipos sistema de aire acondicionado B 787.

Este sistema está conformado por dos equipos chiller, dos equipos compactos, un equipo de precisión y una unidad manejadora de aire. En la Tabla 8 se presenta el levantamiento de los equipos o sub-sistemas del sistema de aire acondicionado del simulador B 787.

| Ítem | Nombre de equipo          | Marca    | Modelo / N° Parte                   | N° Serie   | Año fabricación | Ubicación                      | Refrigerante |
|------|---------------------------|----------|-------------------------------------|------------|-----------------|--------------------------------|--------------|
| 1    | Chiller 1                 | Carrier  | 30RB-033CH                          | 03AXI00461 | 2011            | Terraza norte edificio nuevo   | 410-A        |
| 2    | Chiller 2                 | Carrier  | 30RB-033CH                          | 02AXI06065 | 2011            | Terraza norte edificio nuevo   | 410-A        |
| 3    | Compacto bahía B 787      | Carrier  | 50TQN-240—E941                      | 0511B41863 | 2011            | Terraza norte edificio nuevo   | 407-C        |
| 4    | Compacto HPU B 787        | Carrier  | 50TQN-240—E941                      | 0411B26302 | 2011            | Terraza norte edificio nuevo   | 407-C        |
| 5    | Equipo de precisión B 787 | Liebert  | M29UA1000302020G0                   | 9876440001 | 2011            | Sala servidores edificio nuevo | 407-C        |
| 6    | UMA B 787                 | Morrison | N° de Parte CAE:<br>345591.31.5.832 | -          | 2014            | Bahía norte edificio nuevo     | No utiliza   |

Tabla 8: Levantamiento de equipos sistema de aire acondicionado simulador B 787.



A continuación se explica brevemente la función de cada equipo o sub-sistema:

- Chiller 1: suministrar agua fría a la unidad manejadora de aire del simulador B787 a una temperatura de inyección entre 8 y 12°C.
- Chiller 2: servir de respaldo al equipo Chiller 1 en caso de que éste presente falla.
- Compacto bahía B787: climatizar la bahía dónde está instalado el simulador a una temperatura de 20°C, sirviendo de apoyo al equipo UMA B787.
- Compacto HPU B787: climatizar la sala donde se ubica la unidad HPU eléctrica del simulador B787 a una temperatura de 20°C. La unidad HPU eléctrica permite el movimiento del simulador B787.
- Equipo de precisión B787: inyectar aire en racks de servidores del simulador B787 (sistema informático del simulador) a una temperatura de 17°C y a un caudal de 7.040 m<sup>3</sup>/h.
- UMA B787: inyectar aire a circuitos eléctricos del simulador B787 a una temperatura entre 7°C y 12°C.

### 6.2.3.2. Configuración lógica-funcional sistema de aire acondicionado B 787

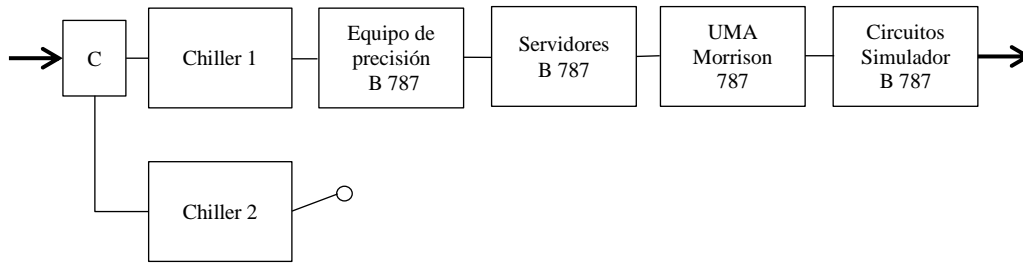
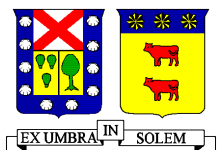


Figura 32: Configuración lógico-funcional sistema de aire acondicionado simulador B787.

De la figura 32 se observa lo siguiente:

- Dentro de la configuración lógica-funcional del sistema no están considerados los equipos compactos que alimentan la bahía y la sala HPU del simulador B787. Esto se debe a que su falla no genera la detención del simulador. El equipo compacto bahía sólo sirve de apoyo a la unidad manejadora de aire, mientras que el equipo compacto HPU no es indispensable para el funcionamiento de la unidad HPU, puesto que esta cuenta con su propio sistema de refrigeración.
- El equipo Chiller 2, se encuentra en stand-by y puede ser conectado en caso de presentar falla el equipo Chiller 1. El conmutador “C” representa al técnico operador del equipo, el cual tarda aproximadamente 10 minutos en poner en funcionamiento el Chiller 2, una vez detectada la falla en el Chiller 1.
- El resto de los equipos del sistema está configurado en serie, por lo que la falla de cualquiera de ellos genera la detención del simulador B787 (a excepción de los compactos de bahía y HPU).
- El sistema no cuenta con equipo de respaldo en caso de presentar falla el equipo UMA B787.



### 6.2.3.3. Disponibilidad y costos globales 2011-2014, simulador B787

En la Tabla 9 se presenta la disponibilidad del simulador B787, de acuerdo al histórico de fallas 2011-2014.

|                       | 2011          | 2012          | 2013          | 2014          |
|-----------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Up Time (Horas)       | 6570          | 6570          | 6570          | 6570          |
| Down Time (Horas)     | 0             | 0             | 0             | 0             |
| <b>Disponibilidad</b> | <b>100,0%</b> | <b>100,0%</b> | <b>100,0%</b> | <b>100,0%</b> |

Tabla 9: Disponibilidad 2011-2014, sistema de aire acondicionado B787.

De la Tabla 9 se observa que la disponibilidad del simulador fue de un 100% durante los cuatro años analizados. No obstante, se registró una falla el año 2013, por mal funcionamiento del equipo compacto de la sala HPU, sin embargo esta falla no generó costos de ineficiencia ni de reparación.



### 6.3. Definición del equipo RCM

El equipo designado para elaborar el análisis RCM se conformó de 4 personas pertenecientes a la empresa de facility. La conformación del equipo se muestra en la Figura 33.

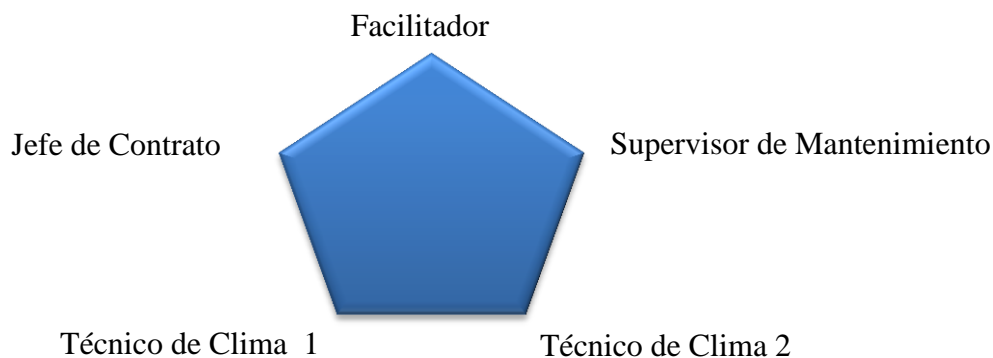


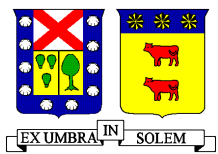
Figura 33: Conformación del equipo RCM.

Las funciones y responsabilidades de cada miembro del equipo se definen a continuación:

1) Facilitador:

- Recopilar toda la información necesaria para iniciar el análisis (manuales de los equipos, histórico de fallas, pautas de mantenimiento, trouble shooting, etc.).
- Capacitar al equipo acerca de la metodología RCM.
- Guiar el proceso RCM, estableciendo el nivel adecuado de análisis, controlando los tiempos, generando consensos y motivando al equipo.
- Registrar de forma adecuada los resultados del análisis.
- Validar los resultados del análisis a través de métodos cuantitativos.

Nota: El rol de facilitador fue llevado a cabo por el autor de esta memoria.



## 2) Técnicos de Clima:

- Obtener información en terreno de los equipos bajo estudio (levantamiento de equipos, parámetros de funcionamiento y configuración lógica funcional de los sistemas y sub-sistemas).
- Aportar su visión experta acerca de la operación, mantenimiento y contexto operacional de los sistemas, sub-sistemas y componentes analizados.
- Ayudar a determinar, en base a lo anterior, las funciones, fallas, modos de fallas (o causas de falla), efectos y consecuencias de fallas, de cada sub-sistema, para así establecer las tareas de mantenimiento que permitan reducir dichas consecuencias.
- Cotizar en el mercado valores de mejoras, reparaciones, materiales y herramientas.

## 3) Jefe de Contrato:

- Entregar lineamientos para la correcta aplicación de la metodología RCM (métodos y recomendaciones de implementación y apoyo en el diseño de planilla de resultados).
- Validar objetivos, metodología y resultados del análisis.
- Entregar recursos necesarios para implementar el análisis.

## 4) Supervisor de Mantenimiento:

- Proporcionar información general acerca del funcionamiento de los sistemas de aire acondicionado (configuración lógico-funcional, funciones y parámetros de funcionamiento).
- Apoyar en la entrega de recursos necesarios para aplicar la metodología.

#### **6.4. Definición de frecuencias de falla tolerables y niveles de criticidad**

Para seleccionar las tareas de mantenimiento más costo-efectivas se establecieron niveles de criticidad (crítico, semi-crítico y no crítico) y frecuencias de falla tolerables para la organización, según las consecuencias de que cada modo falla en seguridad, medio ambiente, operación y reparación (consecuencias no operacionales).

Para definir los niveles de criticidad y frecuencias de fallas tolerables, se tomaron en consideración los intereses de las tres compañías involucradas, es decir, la empresa de facility, la aerolínea y la empresa especialista, además de leyes, decretos y normativas medio ambientales, en especial aquellas aplicables a sustancias agotadoras de la capa de ozono (gases refrigerantes utilizados en equipos de aire acondicionado).

##### **6.4.1. Fallas con consecuencias en seguridad y medio ambiente**

Para establecer las consecuencias en seguridad y medio ambiente se utilizaron de referencias las siguientes leyes, decretos y normativas:

- Ley 20.096 (publicada el 23-03-2006), la cual establece mecanismos de control aplicables a las sustancias agotadoras de la capa de ozono.
- Decreto 238 (publicado el 28-04-1990), el cual promulga Protocolo de Montreal relativo a las sustancias agotadoras de la capa de ozono, de 16 de septiembre de 1987.
- Decreto 719 (publicado el 08-03-1990), el cual promulga Convención de Viena para la protección de la capa de ozono y sus anexos I y II adoptados el 22 de Marzo de 1985.
- Normativa NCh3241-2011: referente a las buenas prácticas en sistemas de refrigeración y climatización.

En la Tabla 10 se presentan los niveles de criticidad y frecuencias de fallas tolerables para modos de falla con consecuencias en seguridad y medio ambiente.

| Consecuencias seguridad y medio ambiente                               | Nivel de criticidad | Frecuencia de falla tolerable |
|--|---------------------|-------------------------------|
| Muerte, lesiones graves o daños permanentes en uno o más trabajadores. | Crítico             | 0% = 0 fallas al año.         |
| Lesiones leves en uno o más trabajadores.                              | Crítico             | 5% = 0,05 fallas al año.      |
| Emanaciones de gas refrigerante a la atmósfera.                        | Semi-crítico        | 10% = 0,1 fallas al año.      |

*Tabla 10: Niveles de criticidad y frecuencias de fallas tolerables para modos de falla con consecuencias en seguridad y medioambiente.*

#### 6.4.2. Fallas con consecuencias operacionales

Para establecer las consecuencias operacionales, se analizaron los costos de ineficiencia históricos provocados por la detención de los simuladores por fallas en los sistemas de aire acondicionado. El costo de ineficiencia por cada hora de detención de un simulador es de USD 550, costo que es asumido por la empresa especialista.

En la Tabla 11 se presentan los niveles de criticidad y frecuencias de falla tolerables para modos de falla con consecuencias operacionales.

| Consecuencias operacionales                           | Nivel de criticidad | Frecuencia de falla tolerable |
|---|---------------------|-------------------------------|
| Indisponibilidad de un simulador por más de 3 horas.  | Crítico             | 5% = 0,05 fallas al año.      |
| Indisponibilidad de un simulador entre 1 y 3 horas.   | Crítico             | 10% = 0,1 fallas al año.      |
| Indisponibilidad de un simulador por menos de 1 hora. | Semi-crítico        | 15% = 0,15 fallas al año.     |

*Tabla 11: Niveles de criticidad y frecuencias de fallas tolerables para modos de falla con consecuencias operacionales.*

### 6.4.3. Fallas con consecuencias no operacionales

Para establecer las consecuencias no operacionales, se tomaron en cuenta los costos de reparación de los equipos de aire acondicionado de los simuladores. Estos costos son asumidos por la aerolínea, la cual cuenta con un presupuesto mensual de USD 20.000 para gastos en correctivos para todas las instalaciones de la región metropolitana.

En la Tabla 12 se presentan los niveles de criticidad y frecuencias de falla tolerables para modos de falla con consecuencias no operacionales.

| Consecuencias no operacionales                                     | Nivel de criticidad | Frecuencia de falla tolerable |
|--|---------------------|-------------------------------|
| Costos de reparación por más de USD 2.000.                         | Crítico             | 5% = 0,05 fallas al año.      |
| Costos de reparación por más de USD 1.000 pero menos de USD 2.000. | Crítico             | 10% = 0,1 fallas al año.      |
| Costos de reparación entre USD 500 y USD 1.000.                    | Semi-crítico        | 15% = 0,15 fallas al año.     |

*Tabla 12: Niveles de criticidad y frecuencias de fallas tolerables para modos de falla con consecuencias no operacionales.*

## 6.5. Algoritmo para seleccionar el nivel de criticidad del modo de falla

El algoritmo que se utilizará para definir la criticidad de cada modo de falla será el siguiente:

1. Determinar el nivel de criticidad para cada tipo de consecuencia en base a lo estipulado en las Tablas 9, 10 y 11.
2. Elegir el mayor nivel de criticidad de las consecuencias analizadas.
3. Chequear si la frecuencia del modo de falla es mayor a la frecuencia de falla tolerable.
4. Si la frecuencia del modo de falla es mayor a la tolerable, elegir ese nivel de criticidad para clasificar el modo de falla y pasar al paso 6. Caso contrario pasar al paso 5.
5. Si la frecuencia del modo de falla es menor o igual a la tolerable, elegir el segundo mayor nivel de criticidad y repetir el paso 4. Caso contrario pasar al paso 6.
6. Chequear si la frecuencia del modo de falla es igual o mayor al 50%.
7. Si es igual o mayor al 50% se debe aumentar en uno el nivel de criticidad (lo anterior no se aplica si ya se está en el nivel “crítico”). Si es menor al 50%, se debe mantener el nivel de criticidad seleccionado.

## 6.6. Diseño de planilla de resultados RCM

En la Figura 34 se presenta el diseño de la planilla donde se registrarán los resultados del análisis RCM.

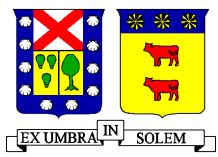
| HOJA DE RESULTADOS RCM  |         | SISTEMA:        |               |                |                    |     |                          |                  |                     | FACILITADOR: | FECHA:                  | PÁG. 1 DE 1 |  |
|-------------------------|---------|-----------------|---------------|----------------|--------------------|-----|--------------------------|------------------|---------------------|--------------|-------------------------|-------------|--|
|                         |         | SUB-SISTEMA:    |               |                |                    |     |                          |                  |                     | AUDITOR:     | FECHA:                  |             |  |
| SUB-SISTEMA /COMPONENTE | FUNCIÓN | FALLA FUNCIONAL | MODO DE FALLA | FREC. DE FALLA | EVIDENCIA DE FALLA | O/E | C. SEG. Y MEDIO AMBIENTE | C. OPERACIONALES | C. NO OPERACIONALES | CRITICIDAD   | TAREAS DE MANTENIMIENTO |             |  |
| 1                       | 1       | A               | 1             |                |                    |     |                          |                  |                     |              |                         |             |  |
| 2                       | 2       | B               | 2             |                |                    |     |                          |                  |                     |              |                         |             |  |
| ...                     | ...     | ...             | ...           |                |                    |     |                          |                  |                     |              |                         |             |  |

Figura 34: Diseño de planilla de resultados RCM.

En la parte superior de la planilla se observan campos generales para identificar el sistema y sub-sistema bajo análisis, el nombre de la persona que consolidó los resultados (facilitador), la fecha de entrega del análisis, el nombre de la persona que auditó los resultados, la fecha de la auditoría y por último el número de página.

En las filas pintadas de color celeste, se observan los campos principales del análisis, con los cuales se identificará el nombre del sub-sistema o componente, con su respectiva función, falla funcional, modo de falla, frecuencia de falla, evidencia de la falla, tipo de falla (oculta o evidente), consecuencias de la falla, criticidad de la falla y tareas de mantenimiento propuestas.

Tal como se muestra en la Figura 34, los sub-sistemas funciones y modos de falla serán listados con números arábigos 1, 2, 3, etc. Mientras que las fallas funcionales serán listadas con letras mayúsculas A, B, C, etc.



Es importante mencionar también, que la planilla se desglosa de izquierda a derecha, de arriba hacia abajo, siendo posible que un mismo sub-sistema incluya varias funciones, las cuales a su vez pueden incluir distintas fallas, las que también a su vez, pueden contener distintos modos de falla. No obstante lo anterior, cada modo de falla será único y tendrá asociado tareas de mantenimiento específicas según sus consecuencias y frecuencia de falla. Toda la información relativa al modo de falla se anotará a lo largo de la fila en la que este se encuentra.



## 6.7. Resultados de análisis RCM

A continuación se presentan los resultados del análisis para los equipos críticos (para ver más resultados revisar anexos 9.1.).

| HOJA DE RESULTADOS RCM                                  |   | SISTEMA: SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN SIMULADORES A 320-1 Y A320-2      |                                 |                |  |     |  |  | FACILITADOR:  | JUAN PABLO RAFFO B. | FECHA:  | 09-12-2015 | PÁGINA: | 1 DE 4 |
|---|---|--|---------------------------------|----------------|--|-----|--|--|---|---------------------|---|------------|---------|--------|
|   |   | SUB-SISTEMA: EQUIPOS COMPACTO MORRISON SIMULADORES A 320-1 Y A 320-2 |                                 |                |  |     |  |  | AUDITOR:  |                     | FECHA:  |            |         |        |
| SUB-SISTEMA /COMPONENTE                                 | FUNCIÓN   | FALLA FUNCIONAL  | MODO DE FALLA                   | FREC. DE FALLA | EVIDENCIA DE FALLA   | O/E | C. SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE  | C. OPERACIONALES   | C. NO OPERACIONALES   | CRITICIDAD          | TAREAS DE MANTENIMIENTO   |            |         |        |
| 1. Equipos compacto Morrison simulador A320-1 y A 320-2 | 1 Inyectar aire en simuladores A320 a una temperatura entre 7°C y 12°C.                                 |  |                                 |                |  |     |  |  |   |                     |   |            |         |        |
| 1.1 Filtros   | 1 Limpiar el aire que ingresa a la unidad compacta eliminando polvo, humo y otro tipo de contaminantes. | A No logra limpiar/filtrar el aire que ingresa a la unidad.          | 1 Filtro sucio.                 | 75%            | Se observarán restos de polvo en los difusores de aire; la Unidad Compacta puede detenerse dependiendo del grado de saturación de los filtros. | E   | -  | Si los filtros se encuentran muy saturados la unidad se detendrá provocando la inmediata detención del simulador por falta de flujo de aire. Para el A320-1, se puede conectar equipo de emergencia manteniendo en funcionamiento el ventilador de inyección de la unidad compacta (20 minutos para instalar). | Reparación: Lavar o cambiar filtros de aire.<br><b>Tiempo Total de Parada:</b> 8hrs.<br><b>Costos:</b> Filtro: \$ 20.000 p/filtro (2 Filtros por unidad compacta). Líquido desengrasante Emerel: \$ 20.000.   | C                   | Lavar filtros utilizando líquido desengrasante marca Emerel (Mensual). Revisar color de lanilla del filtro, si se torna color crema reemplazar filtro (Mensual). Lavar serpentín con agua a presión (Mensual). Lavar serpentín con limpiador alcalino para serpentines exteriores marca Magnific o Triple "D" (Trimestral). |            |         |        |
| 1.2 Serpentín evaporador                                | 1 Transferir el calor desde el aire de inyección hacia el refrigerante del circuito.                    | A No logra enfriar el aire de inyección.                             | 1 Serpentín congelado o tapado. | 50%            | Se observará una disminución del caudal del aire de inyección.   | E   | -  | Mismo efecto que en 1.1 1A1.   | Reparación: Descongelar manualmente el serpentín, chequear presiones de trabajo, buscar posibles fugas de refrigerante en el sistema poniendo atención a las manchas de aceite que se puedan encontrar.<br><b>Tiempo Total de Parada:</b> 13 hrs.<br><b>Costos:</b> Carga de refrigerante: \$140.000. Reparación de fuga y carga de refrigerante: \$ 600.000.   | C                   | Tomar consumo eléctrico del compresor (Mensual). Tomar presiones de trabajo (se recomienda en cambio de estación) (Semestral).  |            |         |        |
|   |   |  | 2 Fuga de refrigerante.         | 25%            | Pueden observarse manchas de aceite. El compresor se detendrá. Se activará el presostato de baja presión.                                      | E   | Si hay fuga en el circuito de alta presión existe riesgo de quemaduras de alto grado con poco tiempo de exposición. Si hay fuga en el circuito de baja presión, existe peligro de quemaduras de alto grado por frío por exposición prolongada. | Aumentará la temperatura de inyección y simulador puede detenerse pasados 10 minutos. Para el A320-1 se puede conectar equipo de emergencia manteniendo en funcionamiento el ventilador de inyección de la unidad compacta (20 minutos para instalar).   | Reparación: Sacar todo el refrigerante del sistema a través de una bomba de vacío, presurizar el sistema con nitrógeno a 300 PSI aprox., identificar fuga, vaciar nitrógeno del sistema, reparar filtración (soldadura de plata y equipo de soldar que puede ser oxiacetileno o gas y oxígeno), vaciar el sistema con bomba de vacío (-30 a -50 PSI de vacío), cargar refrigerante a la presión normal (alta: 150 PSI y baja a 60 PSI).<br><b>Tiempo Total de Parada:</b> 13 hrs.<br><b>Costos:</b> Carga de refrigerante: \$140.000. Reparación de fuga y carga de refrigerante: \$ 600.000. | C                   | Mismas que en 1.2 1A1.  |            |         |        |

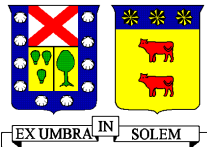
Figura 35: Resultados de análisis RCM: Equipos Compactos Morrison A320-1 y A320-2, página 1 de 4.

| HOJA DE RESULTADOS RCM         |  | SISTEMA:   | SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN SIMULADORES A 320-1 Y A320-2        |                |   |     |   |  |   | FACILITADOR: | JUAN PABLO RAFFO B. | FECHA:  | 09-12-2015 | PÁGINA: | 2 DE 4 |
|--------------------------------|--|--|---|----------------|---|-----|---|--|---|--------------|---------------------|---|------------|---------|--------|
|                                |  | SUB-SISTEMA:   | EQUIPOS COMPACTO MORRISON SIMULADORES A 320-1 Y A 320-2       |                |   |     |   |  |   | AUDITOR:     |                     | FECHA:  |            |         |        |
| SUB-SISTEMA /COMPONENTE        | FUNCIÓN  | FALLA FUNCIONAL  | MODO DE FALLA   | FREC. DE FALLA | EVIDENCIA DE FALLA  | O/E | C. SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE   | C. OPERACIONALES   | C. NO OPERACIONALES   |              | CRITICIDAD          | TAREAS DE MANTENIMIENTO   |            |         |        |
| 1.3 Ventilador de impulsión    | 1 Mover el aire a través del serpentín evaporador para acelerar la transferencia de calor y luego trasladar el aire enfriado hacia la cabina del simulador (Parámetros: 380-401 V; 2-3 A). | A No logra mover el aire a través del serpentín.                 | 1 Contactor en falla.   | 25%            | Ver punto 1.9 (contactores).  | E   | Ver punto 1.9 (contactores).  | Ver punto 1.9 (contactores).   | Ver punto 1.9 (contactores).  |              | C                   | Ver punto 1.9 (contactores).  |            |         |        |
|                                |  |  | 2 Pérdida de aislación en bobinas de motor del ventilador.    | 25%            | La unidad compacta dejará de generar aire frío y se detendrá. Se activará el automático de la unidad. | E   | -   | Mismo efecto que en 1.2 1A1.   | <b>Reparación:</b> Se debe chequear bobinas del motor. En caso de corte, se debe proceder a cambiar motor.<br><b>Tiempos:</b> Conseguir repuestos: 36 hrs; Reparación: 5 hrs; Tiempo Total: 41 hrs.<br><b>Costos:</b> Motor Ventilador Westinghouse 3HP : \$600.000   |              | C                   | Realizar reapriete de terminales eléctricos (Trimestral). Llevar registro de consumos eléctricos (Mensual).                               |            |         |        |
| 1.4 Compresor                  | 1 Elevar la temperatura y presión del refrigerante en forma de gas para después enviarlo al condensador  | A No logra elevar la temperatura y presión del refrigerante.     | 1 Bajo voltaje por aumento de corriente.                      | 25%            | Se observará ruido anormal de funcionamiento.   | E   | -   | Mismo efecto que en 1.2 1A2, además con el tiempo se generará desgaste en las bobinas. | <b>Reparación:</b> Chequear voltaje de suministro al equipo.<br><b>Tiempos:</b> Conseguir repuestos: 3 hrs; Reparación: 1 hrs; Tiempo Total: 4 hrs.<br><b>Costos:</b> Compresor Copeland ZR57KC-TFD-522: \$4.081.792  |              | C                   | Comprobar aislación de bobinas con dispositivo Megger (Anual).  |            |         |        |
|                                |  |  | 2 Bobinas de compresor dañadas por sobre voltaje.             | 25%            | Ruido anormal de funcionamiento. El compresor puede detenerse.  | E   | -   | Mismo efecto que en 1.2 1A2.   | <b>Reparación:</b> Chequear el voltaje de suministro al equipo, chequear corrientes de trabajo del compresor y aislación de las bobinas del compresor, cambiar elemento dañado.<br><b>Tiempos:</b> Conseguir repuestos: 5 hrs; Reparación: 7 hrs; Total: 12 hrs.<br><b>Costos:</b> Compresor Copeland ZR57KC-TFD-522: \$4.081.792 |              | C                   | Mismas que en 1.4 1A1.  |            |         |        |
|                                |  |  | 3 Sobrecalentamiento del compresor por falta de refrigerante. | 25%            | Se activará presostato de baja presión y el compresor se detendrá.                                    | E   | Fuga en circuito de alta presión: peligro de quemaduras de alto grado con poco tiempo de exposición. Fuga en el circuito de baja presión: peligro de quemaduras de alto grado por frío por exposición prolongada. | Mismo efecto que en 1.2 1A1.   | <b>Reparación:</b> Chequear corrientes de trabajo y presiones Costo: N/A  |              | C                   | Comprobar aislación de bobinas con dispositivo Megger (anualmente); Chequear presiones (Trimestral); Medir voltaje y corriente (Mensual). |            |         |        |
| 1.5 Ventiladores de Condensado | 1 Mover el aire a través del serpentín del condensador para acelerar la transferencia de calor. Parámetros: 380-401 V.   | A No logra mover el aire a través del serpentín del condensador. | 1 Contactor en falla.   | 25%            | Ver punto 1.9 (contactores).  | E   | Ver punto 1.9 (contactores).  | Ver punto 1.9 (contactores).   | Ver punto 1.9 (contactores).  |              | C                   | Ver punto 1.9 (contactores).  |            |         |        |
|                                |  |  | 2 Embobinado de motor en cortocircuito.                       | 25%            | Se activará presostato de alta presión y automático de la unidad, deteniéndose el equipo.             | E   | -   | Mismo efecto que en 1.2 1A1.   | <b>Reparación:</b> Chequear bobinado y corriente del (los) motores, cambiar implemento dañado.<br><b>Tiempos:</b> Conseguir repuestos: 5 hrs. Reparación: 5 hrs. Total: 10 hrs.<br><b>Costos:</b> Ventilador de condensado \$ 500.000.  |              | C                   | Chequear corriente y voltaje (Mensual)  |            |         |        |

Figura 36: Resultados de análisis RCM: Equipos Compactos Morrison A320-1 y A320-2, página 2 de 4.

| HOJA DE RESULTADOS RCM            |   | SISTEMA:   | SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN SIMULADORES A 320-1 Y A320-2  |                |   |     |   |  | FACILITADOR:   | JUAN PABLO RAFFO B. | FECHA:   | 09-12-2015 | PÁGINA: | 3 DE 4 |
|-----------------------------------|---|--|---|----------------|---|-----|---|--|--|---------------------|--|------------|---------|--------|
|                                   |   | SUB-SISTEMA:   | EQUIPOS COMPACTO MORRISON SIMULADORES A 320-1 Y A 320-2   |                |   |     |   |  | AUDITOR:   |                     | FECHA:   |            |         |        |
| SUB-SISTEMA /COMPONENTE           | FUNCIÓN   | FALLA FUNCIONAL  | MODO DE FALLA   | FREC. DE FALLA | EVIDENCIA DE FALLA  | O/E | C. SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE   | C. OPERACIONALES                                   | C. NO OPERACIONALES  | CRITICIDAD          | TAREAS DE MANTENIMIENTO  |            |         |        |
| 1.6<br>Serpentín Condensador      | 1 Permitir la transferencia de calor entre el refrigerante y el aire exterior, pasando el refrigerante de gas a alta presión y temperatura a líquido a alta presión y temperatura (Presión: 200-250 PSI). | A No permite la transferencia de calor entre el refrigerante y el aire exterior.               | 1 Fuga de refrigerante  | 25%            | Mismo efecto que en 1.2 1A2.  | E   | Si hay fuga en el circuito de alta presión existe riesgo de quemaduras de alto grado con poco tiempo de exposición.   | Mismo efecto que en 1.2 1A2.                       | Mismo efecto que en 1.2 1A2.   | C                   | Ocupar lentes y guantes de cabritilla para evitar quemaduras; Para neutralizar efectos de refrigerante R-22 cuando se necesite sacar del sistema: sumergir manguera del árbol de carga en un recipiente con agua (R-22 se vuelve inocuo). Además mismas acciones que en 1.2 1A2. |            |         |        |
|                                   |   |  | 2 Condensador obstruido   | 50%            | Se activará presostato de alta presión y el compresor se detendrá; Existe un 25% de probabilidad de que el presostato de alta presión no se active provocando la quema del compresor. | E   | -   | Mismo efecto que en modo de falla anterior 1.2 1A2 | Reparación: Lavar el serpentín con fluido anti incrustaciones, reemplazar implemento dañado.<br>Tiempos: Conseguir repuestos: 2 hrs; Reparación: 3 hrs; Tiempo Total: 5 hrs.<br>Costos: Líquido desincrustante: \$ 12.000 Aprox.                                   | C                   | Lavar serpentín con líquido anti-incrustaciones utilizando guantes de goma para evitar quemaduras por ácido (Trimestral). Lavar a alta presión con hidrolavadora (Mensual).  |            |         |        |
| 1.7<br>Presostato de alta presión | 1 Bloquear el funcionamiento del compresor, cuando la presión de alta sobrepasa los 230 PSI.  | A No bloquea el funcionamiento del compresor cuando presión de alta sobrepasa los 230 PSI.     | 1 Sobrecalentamiento, término de vida útil, problemas en el bi-metal, falta de señal de control 24V.      | 25%            | Se observarán ruidos inusuales de funcionamiento, posible explosión de cañerías y fuga de refrigerante. Se accionará automático del equipo.   | E   | Existe peligro de explosiones, pudiendo ocasionar lesiones graves, incluso la muerte de una persona. También existe peligro de quemaduras graves por calor con poco tiempo de exposición. | Mismo efecto que en 1.2 1A1.                       | Reparación: Remplazar dispositivos defectuosos y<br>Tiempos: Conseguir repuestos: 4 hrs; Reparación: 3 hrs; Tiempo Total: 7 hrs.<br>Costos: Presostato de alta presión: \$ 102.353 (Si se produjera explosión de cañerías los costos podrían superar \$ 1.000.000. | C                   | Tomar presiones durante días de mayor temperatura (Trimestral).  |            |         |        |
| 1.8<br>Presostato de baja presión | 1 Interrumpir el funcionamiento del compresor, si la presión de baja desciende por debajo de los 50 PSI.  | A No bloquea el funcionamiento del compresor cuando presión de baja desciende bajo los 50 PSI. | 1 Presostato descalibrado, Término de vida útil, problemas en el bi-metal, falta de señal de control 24V. | 50%            | No se detectará la falla en circunstancias normales.  | E   | -   | Mismo efecto que en 1.2 1A2.                       | Reparación: Remplazar dispositivos defectuosos y<br>Tiempos: Conseguir repuestos: 4 hrs; Reparación: 3 hrs; Tiempo Total: 7 hrs.<br>Costos: Presostato de baja presión: \$ 97.182  | C                   | Tomar presiones de trabajo idealmente en días de baja temperatura exterior, si no corta en 20 PSI en un tiempo de 3 minutos es porque el presostato tiene problemas (Trimestral)   |            |         |        |
|                                   |   |  | 2 Cortocircuito en la línea de alimentación   | 25%            | Contactos del presostato se encuentran carbonizados o el cuerpo del presostato se encuentra de color café a negro (normalmente son de color verde).                                   | E   | -   | Mismo efecto que en 1.2 1A2.                       | Mismo efecto que en 1.8 1A1.   | C                   | Chequear visualmente contacto y colores de los presostatos (Mensual)   |            |         |        |

Figura 37: Resultados de análisis RCM: Equipos Compactos Morrison A320-1 y A320-2, página 3 de 4.



| HOJA DE RESULTADOS RCM          |   | SISTEMA: SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN SIMULADORES A 320-1 Y A320-2      |   |                |  |     |                               |   | FACILITADOR:  | JUAN PABLO RAFFO B. | FECHA:  | 09-12-2015 | PÁGINA: | 4 DE 4 |
|---------------------------------|---|--|---|----------------|--|-----|-------------------------------|---|---|---------------------|---|------------|---------|--------|
|                                 |   | SUB-SISTEMA: EQUIPOS COMPACTO MORRISON SIMULADORES A 320-1 Y A 320-2 |   |                |  |     |                               |   | AUDITOR:  |                     | FECHA:  |            |         |        |
| SUB-SISTEMA /COMPONENTE         | FUNCIÓN   | FALLA FUNCIONAL  | MODO DE FALLA   | FREC. DE FALLA | EVIDENCIA DE FALLA   | O/E | C. SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE | C. OPERACIONALES  | C. NO OPERACIONALES   | CRITICIDAD          | TAREAS DE MANTENIMIENTO   |            |         |        |
| 1.9 Contactores                 | 1 Cerrar contactos para permitir el paso de corriente en ventiladores de impulsión (2 -3 A); compresor (6-10 A); ventiladores de condensado (1,5-2 A). Todos los contactores funcionan con un voltaje de 380-405 V. | A<br>Uno o más contactores no cierran (no accionan)                  | 1 Falta energía de control en bobina de un contactor (24V). | 25%            | El dispositivo afectado (ya sea ventilador de impulsión, compresor o ventiladores de condensado) no arrancará.   | E   | -                             | Mismo efecto que en 1.2 1A1.  | <b>Reparación:</b> Revisar fusible de control, y si la bobina esta quemada se debe reemplazar<br><b>Tiempos:</b> Conseguir repuestos: 9 hrs; reparación: 2 hrs; total: 11 hrs.<br><b>Costos:</b> Contactor Compresor Telemecanique Bobina 24 V: \$ 362.488; Contactor Ventilador Impulsión Telemecanique Bobina 24 V: \$ 202.141; Contactor Ventiladores de Condensado Telemecanique Bobina 24 V: \$ 202.141. | C                   | Reapriete de terminales (Trimestral). Limpiar con limpia contactos (Anual). Limpiar contactos con soplador (Trimestral). Tomar consumos de voltaje y corriente (Mensual). Chequear con cámara infrarroja estado de contactores (temperatura normal aprox. 50°C) (Semestral).              |            |         |        |
|                                 |   |  | 2 Ausencia de una de las fases.                             | 25%            | Equipo se detendrá junto con el simulador.   | E   | -                             | Mismo efecto que en 1.2 1A1.  | <b>Reparación:</b> Chequear apriete de conexiones desde el automático hasta el contactor afectado. Si no está ahí el problema chequear apriete de conexiones entre el automático general y el automático de la unidad compacta.<br><b>Tiempos:</b> Mismos que en 1.9 1A1.<br><b>Costos:</b> Mismos que en 1.9 1A1.  | C                   | Mismas que en 1.9 1A1.  |            |         |        |
| 1.10 Relés (Tarjeta de Control) | 1 Energizar la bobina del contactor (24V) al recibir y procesar el requerimiento de temperatura, desde termostato.  | A<br>No logra energizar la bobina del contactor.                     | 1 No recibe la señal de los sensores de temperatura         | 25%            | El dispositivo afectado no arrancará y aumentará la temperatura en la cabina del simulador. Si el relé afectado es del ventilador de condensado se detendrá el compresor al activarse el presostato de alta. Si el dispositivo afectado es el contactor del ventilador de inyección el simulador se detendrá por falta de flujo de aire. | E   | -                             | Si el contactor afectado es del ventilador de impulsión ocurrirá mismo efecto de 1.2 1A1. Si el contactor afectado es cualquiera de los otros ocurrirá mismo efecto de 1.2 1A2. | <b>Reparación:</b> Chequear la señal de control (24V) desde el relé al contactor, chequear señal de sensores de temperatura hacia tarjeta de control.<br><b>Tiempos:</b> Conseguir repuestos: 5 hrs. Reparación: 3 hrs. Total: 8 hrs.<br><b>Costos:</b> Tarjeta de control: \$1.000.000.  | C                   | Chequear voltaje de transformador de 24V y fusible de control (24-27 V aceptable) (Mensual). Se recomienda homologar sistema de control a electromecánico, dado que la tarjeta de control es muy antigua. Revisar con cámara termográfica el estado de la tarjeta de control (Semestral). |            |         |        |

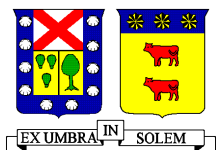
Figura 38: Resultados de análisis RCM: Equipos Compactos Morrison A320-1 y A320-2, página 4 de 4.

| HOJA DE RESULTADOS RCM                                  |   | SISTEMA:  | SISTEMA DE REFRIGERACIÓN SIMULADOR B 787                          |                |  |     |                               |  |   | FACILITADOR: | JUAN PABLO RAFFO B.   | FECHA: | 09-12-2015 | PÁGINA: | 1 DE 2 |
|---|---|---|---|----------------|--|-----|-------------------------------|--|---|--------------|---|--------|------------|---------|--------|
|   |   | SUB-SISTEMA:  | UMA MORRISON SIMULADOR B 787                                      |                |  |     |                               |  |   | AUDITOR:     |   | FECHA: |            |         |        |
| SUB-SISTEMA /COMPONENTE                                 | FUNCIÓN   | FALLA FUNCIONAL   | MODO DE FALLA   | FREC. DE FALLA | EVIDENCIA DE FALLA   | O/E | C. SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE | C. OPERACIONALES   | C. NO OPERACIONALES   | CRITICIDAD   | TAREAS DE MANTENIMIENTO   |        |            |         |        |
| 1. Unidad Manejadora de Aire Morrison (Simulador B 787) | 1 Inyectar aire a Simulador B787 a una temperatura entre 7°C y 12°C.  |   |   |                |  |     |                               |  |   |              |   |        |            |         |        |
| 1.1 Contactor ventilador de impulsión S428910DPA33V     | 1 Cerrar contactos para permitir el paso de corriente en ventilador de impulsión (Parámetros: 2-3 A, 380-405 V, bobina 24 V). | A Uno o más contactor(es) no cierran (no accionan).                       | 1 Falta energía de control en bobina de un contactor (24V)        | 20%            | El dispositivo afectado no arrancará, y el simulador se detendrá.  | E   | -                             | El simulador se detendrá inmediatamente por falta de flujo de aire.  | Reparación: Revisar fusible de control y cambiar contactor si la bobina se encuentra quemada.<br>Tiempos: conseguir repuestos: 9 hrs; reparación: 2 hrs; total: 11 hrs.<br>Costos: Contactor Vent. Impulsión: \$202.141.  | C            | Chequear que el voltaje desde el transformador a la tarjeta sea de 24 a 27 V (Mensual)  |        |            |         |        |
|   |   |   | 2 Ausencia de una de las fases                                    | 33%            | La UMA se detendrá.  | E   | -                             | Mismo efecto que en 1.1 1A1  | Reparación: Chequear el apriete de conexiones desde el automático hasta el contactor afectado. Si no está ahí el problema chequear el apriete de conexiones entre el automático general y el automático de la UMA.<br>Tiempos: conseguir repuestos: 9 hrs; reparación: 2 hrs; total: 11 hrs.<br>Costos: Contactor Telemecanique Bobina 24 V: \$202.141. | C            | Realizar reapriete de conexiones de todo el sistema eléctrico incluyendo automático, contactor y borneras. (Trimestral)   |        |            |         |        |
| 1.2 Relés de control. N° de parte Morrison: RCP8 002    | 1 Energizar bobina de contactor del ventilador de inyección.  | A No logra energizar la bobina del contactor del ventilador de inyección. | 1 No recibe la señal del sensor de temperatura TE150 (Termostato) | 25%            | El dispositivo afectado no arrancará, y el simulador se detendrá.  | E   | -                             | El simulador se detendrá inmediatamente por falta de flujo de aire.  | Reparación: Chequear la señal de control (24V) desde el relé al contactor. Chequear señal de sensores de temperatura hacia Tarjeta de control<br>Tiempos: Conseguir repuestos: 5 hrs; reparación: 3 hrs; total: 8 hrs.<br>Costos: Contactor Vent. Impulsión: \$202.141.   | C            | Chequear que el voltaje desde el transformador a la tarjeta sea de 24 a 27 V (Mensual); realizar reapriete de terminales eléctricos (Trimestral).   |        |            |         |        |
|   | 2 Reportar alarmas por alta temperatura en el agua del Chiller bobina relé 24V.   | A No reporta alarma por alta temperatura en el agua.                      | 1 No recibe señal del sensor de temperatura numero A19ABC-24      | 25%            | No hay   | E   | -                             | Si la temperatura se mantiene alta por un tiempo prolongado ocasionará la caída del simulador.   | Reparación: Chequear la señal de control (24V) desde el acuastato.<br>Tiempos: conseguir repuestos: 5 hrs; reparación: 3 hrs; total: 8 hrs.<br>Costos: Acuastato: \$79.810.   | SC           | Mismas que en 1.2 1A1   |        |            |         |        |
| 1.3 Filtros MA08-221124I                                | 1 Limpiar/filtrar el aire que ingresa al recinto, eliminando el polvo, humo y otro tipo de contaminantes.                     | A No logra limpiar/filtrar el aire que ingresa al recinto.                | 1 Filtro sucio  | 75%            | Se observarán restos de polvo en los difusores de aire; la UMA puede detenerse dependiendo del grado de saturación de los filtros. | E   | -                             | Si los filtros se encuentran muy saturados, la UMA se puede detener ocasionando la detención del simulador por falta de flujo de aire. | Reparación: Lavar o cambiar filtros de aire.<br>Tiempos: conseguir repuestos: 5 hrs; reparación: 3hrs; total: 8hrs.<br>Costos: Filtro MA08-221124I: \$ 20.000 p/filtro; Total: \$ 40.000 (2 Filtros por UMA). Líquido desengrasante Emerel: \$ 20.000.  | C            | Lavar filtros utilizando líquido desengrasante Emerel (Mensual). Lavar serpentín con agua a presión (Mensual). Lavar serpentín con limpiador alcalino para serpentines exteriores marca Magnific o Triple "D" (Trimestral). |        |            |         |        |

Figura 39: Resultados de análisis RCM: UMA Morrison simulador B 787, página 1 de 2.

| HOJA DE RESULTADOS RCM                    |  | SISTEMA: SISTEMA DE REFRIGERACIÓN SIMULADOR B 787                  |   |                |  |     |                               |   | FACILITADOR:  | JUAN PABLO RAFFO B. | FECHA:  | 09-12-2015 | PÁGINA: | 2 DE 2 |
|---|--|--|---|----------------|--|-----|-------------------------------|---|---|---------------------|---|------------|---------|--------|
|   |  | SUB-SISTEMA: UMA MORRISON SIMULADOR B 787                          |   |                |  |     |                               |   | AUDITOR:  |                     | FECHA:  |            |         |        |
| SUB-SISTEMA / COMPONENTE                  | FUNCIÓN  | FALLA FUNCIONAL  | MODO DE FALLA                                 | FREC. DE FALLA | EVIDENCIA DE FALLA   | O/E | C. SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE | C. OPERACIONALES  | C. NO OPERACIONALES   | CRITICIDAD          | TAREAS DE MANTENIMIENTO   |            |         |        |
| 1.4<br>Serpentín de agua fría             | 1<br>Permitir la transferencia de calor entre el aire del ambiente y el agua de la UMA, para así enfriar el aire de inyección a 7°C.   | A<br>No logra enfriar el aire de inyección.                        | 1<br>Serpentín con aire en su interior.       | 15%            | Se observará un aumento de la temperatura del aire de inyección, se activará relé de alta temperatura en el agua (Luz piloto color rojo)   | E   | -                             | Si bien el caudal de aire se mantiene, la temperatura de la cabina del simulador subirá, lo cual si se mantiene por más de 10 minutos puede generar la detención del simulador. | <b>Reparación:</b> Despachar el circuito de agua desde el chiller, chequear los despiches automáticos, chequear funcionamiento de la bomba de agua del chiller.<br><b>Tiempos:</b> conseguir repuestos: 9 hrs; reparación: 4 hrs; total: 13 hrs.<br><b>Costos:</b> No aplica. | SC                  | Mismas que en 1.3 1A1 y además chequear apertura de válvula de agua y voltaje de trabajo variable (0 a 10 V) (Mensual). |            |         |        |
|   |  |  | 2<br>Válvula de agua VE4113-16-15320 Cerrada  | 15%            | Se observará un aumento de la temperatura del aire de inyección, compresor del chiller tendrá intervalos de detención mas prolongados debido al poco o nulo requerimiento de temperatura, se activara relé de alta temperatura en el agua (Luz piloto color rojo). | E   | -                             | Si bien el caudal de aire se mantiene, la temperatura de la cabina del simulador subirá, lo cual si se mantiene puede generar la detención del simulador.                       | <b>Reparación:</b> Chequear el voltaje de válvula de agua y su recorrido o carrera.<br><b>Tiempos:</b> conseguir repuestos: 9 hrs; reparación: 4 hrs; total: 13 hrs.<br><b>Costos:</b> Válvula de agua VE4113-16-15320 : \$ 190.000   | SC                  | Mismas que en 1.3 1A2.  |            |         |        |
| 1.5<br>Ventilador de impulsión: HT003402P | 1<br>Mover el aire a través del serpentín del evaporador para lograr el enfriamiento de aire necesario (Parámetros: 380-401 V; 2-3 A). | A<br>No logra mover el aire a través del serpentín del evaporador. | 1<br>Contactor no acciona                     | 50%            | Ver 1.1 1A1 y 1.1 1A2  | E   | -                             | Ver 1.1 1A1 y 1.1 1A2   | Ver 1.1 1A1 y 1.1 1A2   | C                   | Ver 11A1 y 11A2   |            |         |        |
|   |  |  | 2<br>Falla en bobinas de motor del ventilador | 25%            | La UMA dejará de funcionar, se activará el automático de la unidad.  | E   | -                             | Mismo efecto que en 1.2 1A1   | <b>Reparación:</b> chequear bobinas del motor y, en caso de corte, proceder a cambiar motor.<br><b>Tiempos:</b> conseguir repuestos: 36 hrs; reparación: 5 hrs; total: 41 hrs.<br><b>Costos:</b> Motor Ventilador Westinghouse 3HP : \$600.000                                | C                   | Realizar reapriete de terminales eléctricos (Trimestral). Llevar registro de consumos eléctricos (Mensual).             |            |         |        |

Figura 40: Resultados de análisis RCM: UMA Morrison simulador B 787, página 2 de 2.



## 6.8. Factibilidad técnica y conveniencia económica de las tareas propuestas

A continuación se analizará si las tareas de mantenimiento propuestas son técnicamente factibles y económicamente convenientes. Para esto, se presentarán las tareas propuestas para cada tipo de equipo (Chiller, equipos compactos, equipos de precisión, UMA, torres de enfriamiento) junto a sus respectivos costos (en materiales y/o proveedores externos) y tiempos de no producción o down time requerido para su ejecución.

Es importante mencionar que las tareas propuestas ya se consideran técnicamente factibles en el sentido de que son físicamente realizables y permiten reducir y/o eliminar las consecuencias de los modos de falla analizados, sin embargo, se requiere evaluar además si el down time necesario para ejecutar las tareas es menor al down time disponible, el cual se estima en 1.460 horas anuales, las cuales corresponden a ventanas dentro de la programación de los cursos de simulación.

Por otro lado, para que las tareas propuestas sean económicamente convenientes se debe cumplir que los costos necesarios para ejecutar las tareas sean menores a los costos globales esperados en caso de no realizar ningún tipo de mantenimiento preventivo.

### 6.8.1. Factibilidad técnica y conveniencia económica de tareas propuestas para equipos compactos

En las Tablas 13, 14, 15, 16 y 17 se presenta el resumen de las recomendaciones y tareas de mantenimiento propuestas para los equipos compactos. En las tablas se incluyen los costos de las actividades (en materiales y/o proveedores externos) y el down time requerido por cada equipo (los únicos equipos compactos que requieren down time son los compactos Morrison).

| Recomendaciones   |
|---|
| Para neutralizar efectos de refrigerante R-22 cuando se necesite sacar del sistema: sumergir manguera del árbol de carga en un recipiente con agua (R-22 se vuelve inocuo). |

Tabla 13: Recomendaciones, equipos compactos.

| Tareas de mantenimiento   | Frecuencia | Costos          | Down Time [Hr] |
|---|------------|-----------------|----------------|
| Comprobar aislación de bobinas de compresor con dispositivo Megger. | Anual      | \$ 5.000        | 0              |
| Limpiar contactores con limpia contactos.                           | Anual      | \$ 3.500        | 1              |
| <b>TOTAL ANUAL</b>  |            | <b>\$ 8.500</b> | <b>1</b>       |

Tabla 14: Tareas de mantenimiento anuales, equipos compactos.

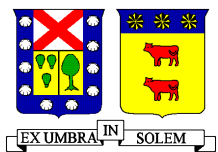


| Tareas de mantenimiento  | Frecuencia | Costos           | Down Time [Hr] |
|--|------------|------------------|----------------|
| Lavar filtros utilizando líquido desengrasante marca Emerel y revisar color de lanilla del filtro, si se torna color crema reemplazar filtro.    | Mensual    | \$ 20.000        | 1              |
| Lavar serpentines con agua a presión.  | Mensual    | \$ -             | 1              |
| Tomar consumos eléctricos del compresor  | Mensual    | \$ -             | 0              |
| Llevar registro de consumos eléctricos de compresor, ventilador de impulsión ventilador de condensado y contactores.                             | Mensual    | \$ -             | 0              |
| Chequear visualmente contactos y colores de los presostatos (normalmente son verdes, si se encuentran entre cafés y negros se deben reemplazar). | Mensual    | \$ -             | 0              |
| Chequear voltaje de transformador de 24V y fusible de control (24-27 V aceptable).   | Mensual    | \$ -             | 0              |
| <b>TOTAL ANUAL</b>   |            | <b>\$ 20.000</b> | <b>24</b>      |

Tabla 15: Tareas de mantenimiento mensuales, equipos compactos.

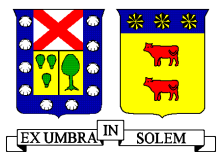
| Tareas de mantenimiento   | Frecuencia | Costos      | Down Time [Hr] |
|---|------------|-------------|----------------|
| Tomar presiones de trabajo (se recomienda en cambio de estación).   | Semestral  | \$ -        | 1              |
| Revisar con cámara termográfica el estado de la tarjeta de control. | Semestral  | \$ -        | 0              |
| <b>TOTAL ANUAL</b>  |            | <b>\$ 0</b> | <b>2</b>       |

Tabla 16: Tareas de mantenimiento semestrales, equipos compactos.



| Tareas de mantenimiento   | Frecuencia | Costos           | Down Time [Hr] |
|---|------------|------------------|----------------|
| Lavar serpentines con limpiador alcalino para serpentines exteriores marca Magnific o Triple "D"  | Trimestral | \$ 12.000        | 2              |
| Realizar reapriete de terminales eléctricos   | Trimestral | \$ -             | 0              |
| Chequear funcionamiento de presostato de alta, tomando presiones durante días de mayor temperatura.   | Trimestral | \$ -             | 1              |
| Chequear funcionamiento de presostato de baja, tomando presiones en días de baja temperatura exterior, si no corta en 20 PSI en un tiempo de 3 minutos es porque el presostato tiene problemas. | Trimestral | \$ -             | 1              |
| Limpiar contactores con soplador.   | Trimestral | \$ -             | 0              |
| Chequear con cámara infrarroja estado de contactores (temperatura normal aprox. 50°C)   | Trimestral | \$ -             | 0              |
| <b>TOTAL ANUAL</b>  |            | <b>\$ 24.000</b> | <b>16</b>      |

Tabla 17: Tareas de mantenimiento trimestrales, equipos compactos.



### **Análisis de factibilidad técnica de las tareas propuestas:**

De las Tablas 13, 14, 15, 16 y 17 se observa que el down time requerido por cada equipo compacto es de 43 horas anuales, por lo tanto en total se requieren 86 horas de down time para labores de mantenimiento (los únicos equipos compactos que generan Down Time son los dos equipos compactos Morrison). De esta manera las 86 horas resultan muy inferiores a las 1.460 horas disponibles. Por lo tanto, las actividades propuestas para los equipos compactos se consideran técnicamente factibles.

### **Análisis de conveniencia económica de las tareas propuestas:**

Las tareas propuestas tendrán un valor de \$ 52,5 mil anuales por equipo, valor inferior a los costos globales esperados en caso de no realizar ningún tipo de mantenimiento preventivo ni cambio de diseño, los cuales oscilan entre \$1 a \$20 millones anuales por equipo (ver Anexos 9.3.1.). Por lo tanto, se considera que las tareas propuestas para los equipos compactos son económicamente convenientes.

Nota: Según juicio experto, en el caso de los equipos compactos de los simuladores A320-1 y A320-2 (compactos Morrison, compactos de bahías y compactos de salas HPU), la sola aplicación de las tareas propuestas no permitirá disminuir la frecuencia de los modos de falla, a niveles inferiores al 15%, puesto que existen limitantes dadas por deficiencias de diseño, término de vida útil y obsolescencia de algunos componentes. Las soluciones propuestas a dichas limitantes se abordan con mayor profundidad en el punto 6.10. (Evaluación del diseño funcional de los sistemas de aire acondicionado).

## 6.8.2. Factibilidad técnica y conveniencia económica de tareas de E. de precisión

En las Tablas 18, 19, 20, 21 y 22 se presenta el resumen de las tareas de mantenimiento propuestas para los equipos de precisión.

| Recomendaciones  |
|--|
| En caso de que uno de los módulos de los equipos de precisión A320-1 o A320-2 presente falla, se recomienda disminuir al máximo la temperatura de inyección del equipo y reparar cuanto antes. |

*Tabla 18: Recomendación, equipos de precisión A320-1 y A320-2*

| Tareas de mantenimiento                                   | Frecuencia | Costos    | Down Time [Hr] |
|---|------------|-----------|----------------|
| Chequear rodamientos y aspás del ventilador de condensado | Anual      | \$ -      | 1              |
| <b>TOTAL ANUAL</b>  |            | <b>\$</b> | <b>1</b>       |

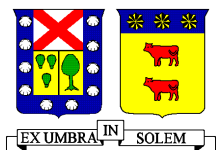
*Tabla 19: Tareas de mantenimiento anuales, equipos de precisión*

| Tareas de mantenimiento  | Frecuencia | Costos           | Down Time [Hr] |
|--|------------|------------------|----------------|
| Registrar corriente y voltaje de bobina de contactor de ventilador de impulsión  | Mensual    | \$ -             | 0              |
| Medir y registrar corriente y voltaje en bobina de motor de ventilador de impulsión                                      | Mensual    | \$ -             | 0              |
| Chequear señal de control 24 V en contactor de ventilador de impulsión y en la entrada y salida de la tarjeta de control | Mensual    | \$ -             | 0              |
| Chequear estado de fusibles de control   | Mensual    | \$ -             | 0              |
| Realizar reapriete de todos los terminales de la tarjeta de control  | Mensual    | \$ -             | 0              |
| Chequear voltaje de transformador (parámetro: 24-27 V)   | Mensual    | \$ -             | 1              |
| Medir y registrar corriente y voltaje en bobina de contactor de compresor  | Mensual    | \$ -             | 0              |
| Tomar consumos eléctricos del motor del ventilador de condensado   | Mensual    | \$ -             | 0              |
| Lavar filtros con líquido desengrasante desengrasante Emerel   | Mensual    | \$ 20.000        | 1              |
| Aspirar serpentín evaporador con aspiradora de alta potencia   | Mensual    | \$ -             | 1              |
| <b>TOTAL ANUAL</b>   |            | <b>\$ 60.000</b> | <b>36</b>      |

*Tabla 20: Tareas de mantenimiento mensuales, equipos de precisión*

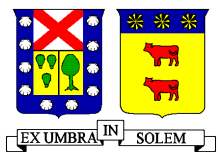
| Tareas de mantenimiento  | Frecuencia | Costos           | Down Time [Hr] |
|--|------------|------------------|----------------|
| Limpiar serpentines con hidrolavadora a vapor (agua a presión) | Semestral  | \$ 35.000        | 2              |
| <b>TOTAL ANUAL</b>   |            | <b>\$ 70.000</b> | <b>4</b>       |

*Tabla 21: Tareas de mantenimiento semestrales, equipos de precisión*



| Tareas de mantenimiento   | Frecuencia | Costos           | Down Time [Hr] |
|---|------------|------------------|----------------|
| Chequear visualmente posibles fugas de refrigerante   | Trimestral | \$ -             | 1              |
| Medir presiones de trabajo (idealmente en cambio de estación)                                     | Trimestral | \$ -             | 1              |
| Chequear deterioro de filtros y reemplazar de ser necesario                                       | Trimestral | \$ -             | 1              |
| Realizar limpieza de flow switch  | Trimestral | \$ -             | 1              |
| Realizar reapriete de terminales de flow switch   | Trimestral | \$ -             |                |
| Aplicar limpia contactos en flow switch   | Trimestral | \$ -             | 1              |
| Lavar serpentín evaporador y condensador con limpiador alcalino marca Magnific o Triple D         | Trimestral | \$ 12.000        | 2              |
| Limpiar tarjeta de control con limpia contactos   | Trimestral | \$ -             | 1              |
| Limpiar variador de frecuencia con limpia contactos (sólo aplica para equipos de precisión B 787) | Trimestral | \$ -             | 1              |
| Realizar reapriete de conexiones eléctricas de ventilador de impulsión                            | Trimestral | \$ -             | 0              |
| <b>TOTAL ANUAL</b>  |            | <b>\$ 24.000</b> | <b>36</b>      |

*Tabla 22: Tareas de mantenimiento trimestrales, equipos de precisión.*



### **Análisis de factibilidad técnica de las tareas propuestas:**

De las Tablas 18, 19, 20, 21 y 22 se observa que el down time total requerido por cada equipo es de 77 horas anuales, por lo que en total se requieren 337 horas anuales para los 3 equipos de precisión. Este valor resulta mucho menor a las 1.374 horas disponibles para labores de mantenimiento (de las 1.460 horas disponibles inicialmente se descontaron 86 horas para los equipos compactos). Por lo tanto, las actividades propuestas para los equipos de precisión se consideran técnicamente factibles.

### **Análisis de conveniencia económica de las tareas propuestas:**

Las tareas propuestas tendrán un costo anual de \$154 mil por equipo, valor equivalente a tan sólo el 2% de los costos globales esperados en caso de no realizar ningún tipo de mantenimiento preventivo, los cuales se estiman en \$7 millones anuales por equipo (ver Anexos 9.3.1.). Por lo tanto, se considera que las tareas propuestas para los equipos de precisión son económicamente convenientes.

### 6.8.3. Factibilidad técnica y conveniencia económica de tareas para equipos Chiller

En las Tablas 23, 24, 25, 26, 27 y 28 se presenta el resumen de las recomendaciones y tareas de mantenimiento propuestas para los equipos Chiller.

| Recomendaciones   |
|---|
| Si falta una fase en la red eléctrica (red Chilectra) se debe dar aviso inmediato a la empresa especialista.            |
| Cargar siempre la cantidad de refrigerante recomendada por el fabricante, independiente de las condiciones ambientales. |

Tabla 23: Recomendaciones, equipos Chiller.

| Sub sub sistema        | Tareas de mantenimiento  | Frecuencia | Costos            | Down Time [Hr] |
|------------------------|--|------------|-------------------|----------------|
| Bomba de agua          | Chequear que rodamientos no tengan juego, que caracol centrífugo no presente ruidos anormales de funcionamiento y que no exista óxido dentro de caracol. | Anual      | \$ 450.000        | -              |
| Contactores            | Chequear temperatura de contactores del Chiller con cámara infrarroja.   | Anual      | \$ -              | -              |
| Ventilador condensador | Chequear rodamientos y aspás del ventilador.   | Anual      | \$ -              | -              |
| <b>TOTAL ANUAL</b>     |  |            | <b>\$ 450.000</b> | <b>0</b>       |

Tabla 24: Tareas de mantenimiento anuales, equipos Chiller.



| Sub sub sistema        | Tareas de mantenimiento   | Frecuencia | Costos      | Down Time [Hr] |
|------------------------|---|------------|-------------|----------------|
| Bomba de agua          | Tomar consumos eléctricos del motor de la bomba de agua.  | Mensual    | \$ -        | -              |
| Circuito de agua       | Realizar purga del sistema (abrir válvula de despiche de aire de forma manual).                         | Mensual    | \$ -        | -              |
| Compresores            | Llevar registro de consumo eléctrico de compresores.  | Mensual    | \$ -        | -              |
| Estanque de expansión  | Llevar registro de presión de trabajo de la bomba y del estanque de expansión (5 Bar).                  | Mensual    | \$ -        | -              |
| Manómetros             | Llevar registro de lecturas de manómetros y comparar valores entre los distintos equipos Chiller.       | Mensual    | \$ -        | -              |
| Presostato de aceite   | Chequear funcionamiento eléctrico de presostato de aceite (24V).  | Mensual    | \$ -        | -              |
| Resistencia Cáster     | Chequear consumo eléctrico y activación del cáster.   | Mensual    | \$ -        | -              |
| Tarjeta de control     | Chequear que el voltaje desde el transformador a la tarjeta de control sea entre 24-27 V.               | Mensual    | \$ -        | -              |
| Termómetros            | Llevar registro de termómetros digital y análogo. Comparar valores entre los distintos equipos Chiller. | Mensual    | \$ -        | -              |
| Ventilador condensador | Tomar consumos eléctricos del ventilador de condensado del Chiller.                                     | Mensual    | \$ -        | -              |
| Ventilador condensador | Tomar consumos eléctricos de ventilador condensador.  | Mensual    | \$ -        | -              |
| Ventilador condensador | Chequear corriente de control de ventilador condensador.  | Mensual    | \$ -        | -              |
| Ventilador condensador | Chequear partes móviles y mecánicas del ventilador condensador.   | Mensual    | \$ -        | -              |
| <b>TOTAL</b>           |   |            | <b>\$ -</b> | <b>0</b>       |

Tabla 25: Tareas de mantenimiento mensuales, equipos Chiller.

| Sub sub sistema    | Tareas de mantenimiento                             | Frecuencia | Costos      | Down Time [Hr] |
|--------------------|---|------------|-------------|----------------|
| Circuito de agua   | Chequear apertura de válvulas y llaves del sistema. | Semanal    | \$ -        | -              |
| <b>TOTAL ANUAL</b> |   |            | <b>\$ -</b> | <b>0</b>       |

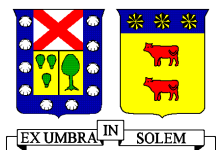
Tabla 26: Tareas de mantenimiento semanales, equipos Chiller.

| Sub sub sistema    | Tareas de mantenimiento                                    | Frecuencia | Costos      | Down Time [Hr] |
|--------------------|--|------------|-------------|----------------|
| Compresores        | Llevar registro de presiones (120 PSI baja, 410 PSI alta). | Semestral  | \$ -        | -              |
| Presostatos        | Chequear funcionamiento de presostato de alta y baja.      | Semestral  | \$ -        | -              |
| Presostatos        | Chequear funcionamiento eléctrico de presostatos (24V).    | Semestral  | \$ -        | -              |
| <b>TOTAL ANUAL</b> |  |            | <b>\$ -</b> | <b>-</b>       |

Tabla 27: Tareas de mantenimiento semestrales, equipos Chiller.

| Sub sub sistema    | Tareas de mantenimiento  | Frecuencia | Costos           | Down Time [Hr] |
|--------------------|--|------------|------------------|----------------|
| Circuito eléctrico | Realizar reapriete de conexiones en todo el circuito eléctrico del Chiller: automáticos, contactores y borneras. | Trimestral | \$ -             | -              |
| Flow switch        | Chequear accionamiento mecánico del Flow Switch.   | Trimestral | \$ -             | -              |
| Flow switch        | Chequear sensibilidad de Flow Switch mediante perno de ajuste.   | Trimestral | \$ -             | -              |
| Resistencia Cáster | Chequear conexiones.   | Trimestral | \$ -             | -              |
| Serpentín          | Realizar lavado químico con limpiador alcalino para serpentines exteriores marca Magnific o Triple "D".          | Trimestral | \$ 12.000        | -              |
| <b>TOTAL ANUAL</b> |  |            | <b>\$ 24.000</b> | <b>0</b>       |

Tabla 28: Tareas de mantenimiento trimestrales, equipos Chiller.



### **Análisis de factibilidad técnica de las tareas propuestas:**

De las Tablas 23, 24, 25, 26, 27 y 28 se observa que las actividades propuestas no generan down time, debido a que existe otro Chiller en stand-by que puede ser accionado mientras se realizan los mantenimientos del Chiller principal. Por lo tanto, al no existir down time, las actividades propuestas para los equipos Chiller se consideran técnicamente factibles.

### **Análisis de conveniencia económica de las tareas propuestas:**

Las recomendaciones y tareas propuestas tendrán un costo anual de \$474 mil por cada equipo Chiller, siendo este valor mucho menor a los costos globales esperados en caso de no aplicar ningún tipo de mantenimiento preventivo ni cambio de diseño, los cuales se estiman en \$8,5 millones por equipo (ver Anexos 9.3.1.). Por lo tanto, se considera que las tareas propuestas para los equipos Chiller son económicamente convenientes.

#### 6.8.4. Factibilidad técnica y valer la pena tareas torres de enfriamiento

En las Tablas 29, 30 y 31 se presenta el resumen de las tareas de mantenimiento propuestas para las torres de enfriamiento.

| Tareas de mantenimiento        | Frecuencia | Costos           | Down Time [Hr] |
|--------------------------------|------------|------------------|----------------|
| Reemplazar corta gota (Challa) | Anual      | \$ 40.000        | 1              |
| <b>TOTAL ANUAL</b>             |            | <b>\$ 40.000</b> | <b>1</b>       |

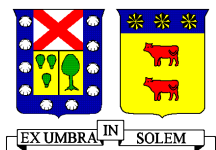
Tabla 29: Tareas de mantenimiento anuales, torres de enfriamiento.

| Tareas de mantenimiento  | Frecuencia | Costos      | Down Time [Hr] |
|--|------------|-------------|----------------|
| Chequear consumos eléctricos en ventilador de corta gota                         | Mensual    | \$ -        | 0              |
| Chequear consumos eléctricos en bomba de agua                                    | Mensual    | \$ -        | 0              |
| Chequear funcionamiento de llaves y chequear filtraciones en uniones de cañerías | Mensual    | \$ -        | 0              |
| <b>TOTAL ANUAL</b>   |            | <b>\$ -</b> | <b>0</b>       |

Tabla 30: Tareas de mantenimiento mensuales, torres de enfriamiento.

| Tareas de mantenimiento  | Frecuencia | Costos           | Down Time [Hr] |
|--|------------|------------------|----------------|
| Realizar reapriete de conexiones de todo el circuito eléctrico de la torre (automáticos, contactores y borneras )    | Trimestral | \$ -             | 0              |
| Lavar filtro con líquido desengrasante y escobilla plástica y retirar incrustaciones de la carcasa del porta filtro. | Trimestral | \$ 40.000        | 2              |
| <b>TOTAL ANUAL</b>   |            | <b>\$ 40.000</b> | <b>8</b>       |

Tabla 31: Tareas de mantenimiento trimestrales, torres de enfriamiento.



### **Análisis de factibilidad técnica de las tareas propuestas:**

De las Tablas 29, 30 y 31 se observa que el down time requerido por cada torre de enfriamiento es de 10 horas anuales, por lo que en total se necesitan 30 horas anuales para las 3 torres de enfriamiento. Este valor es considerablemente menor a las 1.037 horas disponibles (de las 1.460 horas disponibles inicialmente se descontaron 86 horas para los equipos compacto y 337 horas para los equipos de precisión). Por lo tanto, las actividades propuestas para las torres de enfriamiento se consideran técnicamente factibles.

### **Análisis de conveniencia económica de las tareas propuestas:**

Por otro lado, se observa que los costos anuales de realizar las tareas propuestas serán de \$80 mil por cada torre de enfriamiento, siendo este valor menor a los costos globales esperados en caso de no realizar ningún tipo de mantenimiento preventivo ni cambio de diseño, los cuales se estiman en \$7,8 millones anuales por equipo (ver Anexos 9.3.1.). Por lo tanto, las tareas propuestas para las torres de enfriamiento se consideran económicamente convenientes.

Nota: Según juicio experto, las tareas propuestas para las torres de enfriamiento no permitirán, por si mismas, reducir la frecuencia de los modos de falla analizados a niveles inferiores al 15%, puesto que existen limitantes dadas por deficiencias de diseño, las cuales sólo se pueden subsanar realizando cambios de diseño en estos equipos (ver punto 6.10. Evaluación del diseño funcional de los sistemas de aire acondicionado).

### 6.8.5. Factibilidad técnica y conveniencia económica de tareas propuestas para UMA Morrison

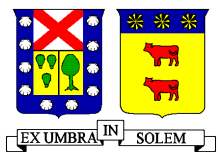
En las Tablas 32 y 33 se presenta el resumen de las tareas de mantenimiento propuestas para el equipo UMA Morrison del simulador B787.

| Tareas de mantenimiento   | Frecuencia | Costos           | Down Time [Hr] |
|---|------------|------------------|----------------|
| Chequear que el voltaje desde el transformador a la tarjeta sea de 24 a 27 V  | Mensual    | \$ -             | 0              |
| Lavar filtros utilizando líquido desengrasante marca Emerel                   | Mensual    | \$ 20.000        | 1              |
| Lavar serpentín con agua a presión  | Mensual    | \$ -             | 1              |
| Chequear apertura de válvula de agua y voltaje de trabajo variable (0 a 10 V) | Mensual    |                  |                |
| Lavar serpentín con agua a presión  | Mensual    | \$ -             | 1              |
| Llevar registro de consumos eléctricos  | Mensual    | \$ -             | 0              |
| <b>TOTAL ANUAL</b>  |            | <b>\$ 60.000</b> | <b>36</b>      |

Tabla 32: Tareas de mantenimiento mensual, UMA Morrison.

| Tareas de mantenimiento  | Frecuencia | Costos           | Down Time [Hr] |
|--|------------|------------------|----------------|
| Realizar reapriete de conexiones de todo el sistema eléctrico incluyendo automático, contactor y borneras. | Trimestral | \$ -             | 0              |
| Lavar serpentín con limpiador alcalino para serpentines exteriores marca Magnific o Triple "D"             | Trimestral | \$ 12.000        | 2              |
| Lavar serpentín con limpiador alcalino para serpentines exteriores marca Magnific o Triple "D"             | Trimestral | \$ 12.000        | 2              |
| <b>TOTAL ANUAL</b>   |            | <b>\$ 24.000</b> | <b>16</b>      |

Tabla 33: Tareas de mantenimiento trimestral, UMA Morrison.

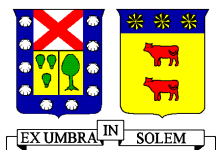


### **Análisis de factibilidad técnica de las tareas propuestas:**

De las Tablas 32 y 33 se observa que el down time total requerido para realizar las tareas propuestas es de 52 horas anuales, siendo este valor inferior a las 1.007 horas disponibles para labores de mantenimiento (de las 1037 horas anteriores se descontaron 30 horas para las torres de enfriamiento). Por lo tanto, las actividades propuestas para el equipo UMA Morrison se consideran técnicamente factibles.

### **Análisis de conveniencia económica de las tareas propuestas:**

Los costos anuales de realizar las tareas propuestas es de \$ 84 mil, valor que resulta inferior a los \$11,5 millones estimados en costos globales en caso de no implementarse ningún tipo de mantenimiento preventivo (ver Anexos 9.3.1.). Por lo tanto, se considera que las tareas propuestas para la UMA Morrison son económicamente convenientes.



### 6.8.6. Resumen de factibilidad técnica y económica de las tareas propuestas

Según lo analizado en los puntos anteriores, se considera que todas las tareas propuestas son técnicamente factibles, puesto que son físicamente realizables, permiten reducir y/o eliminar los modos de fallas detectados y requieren de un down time total de sólo 505 horas anuales, el cual es inferior a las 1.460 horas anuales disponibles en down time para labores de mantenimiento.

En cuanto a la conveniencia económica de las tareas propuestas, se pudo corroborar que para todos los equipos, los costos anuales de implementar las tareas (costos en materiales y/o proveedores externos) son menores a los costos globales esperados en caso de no realizar ningún tipo de mantenimiento preventivo ni cambio de diseño. Por lo tanto, desde esa perspectiva, se consideró que todas las tareas propuestas son económicamente convenientes.

No obstante lo anterior, es necesario destacar que, según juicio experto, en el caso de los equipos compactos Morrison, compactos de bahías, compactos salas HPU y torres de enfriamiento (sólo se aplica a los equipos de los simuladores A320-1 y A320-2), la sola aplicación de las tareas propuestas no permitirá disminuir la frecuencia de los modos de falla a niveles inferiores al 15%, puesto que existen limitantes dadas por deficiencias de diseño, término de vida útil y obsolescencia de algunos componentes. Las soluciones propuestas a dichas limitantes se abordan con mayor profundidad en el punto 6.10. (Evaluación del diseño funcional de los sistemas de aire acondicionado).



## 6.9. Stock de materiales y herramientas requeridas

Para poder implementar adecuadamente las tareas de mantenimiento propuestas, se requiere ampliar el actual stock de materiales y herramientas. En la Tabla 34 se presenta el actual stock de materiales y herramientas utilizados para la mantención de los equipos de aire acondicionado.

| Ítem | Materiales y herramientas        | Stock |
|------|----------------------------------|-------|
| 1    | Alicate cortante                 | 1     |
| 2    | Alicate universal                | 1     |
| 3    | Árbol de carga R 410             | 1     |
| 4    | Árbol de carga R 22              | 1     |
| 5    | Bloqueador solar                 | 1     |
| 6    | Expandidor cónico                | 1     |
| 7    | Extractor de polea de dos puntas | 1     |
| 8    | Gorro legionario                 | 1     |
| 9    | Guantes de cabritilla            | 1     |
| 10   | Lentes protectores               | 1     |
| 11   | Llave francesa 6"                | 1     |
| 12   | Llave Stillson                   | 1     |
| 13   | Multímetro                       | 1     |
| 14   | Peine para serpentines           | 1     |
| 15   | Soplador                         | 1     |
| 16   | Taladro alámbrico                | 1     |
| 17   | Taladro inalámbrico              | 1     |
| 18   | Tester                           | 1     |
| 19   | Zapatos de seguridad             | 1     |

Tabla 34: Stock actual de materiales y herramientas de mantenimiento.

En la Tabla 35 se presenta el stock de materiales y herramientas que se debe añadir al actual, en la tabla se presentan además los costos de cada ítem. Este stock se considera básico e indispensable para poder ejecutar las tareas de mantenimiento propuestas.

| Ítem         | Materiales   | Stock mínimo | Costo Unitario | Costo Total       |
|--------------|--|--------------|----------------|-------------------|
| 1            | Adaptador para R 410   | 1            | \$ 6.500       | \$ 6.500          |
| 2            | Alicate caimán 7"  | 1            | \$ 2.990       | \$ 2.990          |
| 3            | Anemómetro   | 1            | \$ 35.000      | \$ 35.000         |
| 4            | Bomba de vacío   | 1            | \$ 125.000     | \$ 125.000        |
| 5            | Cortador de tubos  | 1            | \$ 4.990       | \$ 4.990          |
| 6            | Espejo telescópico de inspección   | 1            | \$ 4.500       | \$ 4.500          |
| 7            | Estanque recuperador de refrigerante                                       | 1            | \$ 60.000      | \$ 60.000         |
| 8            | Expandidor recto   | 1            | \$ 5.350       | \$ 5.350          |
| 9            | Limpia contactos <sup>8</sup>  | 3            | \$ 3.790       | \$ 11.370         |
| 10           | Limpiador desengrasante para filtros marca Emerel <sup>9</sup>             | 3            | \$ 20.000      | \$ 60.000         |
| 11           | Limpiador líquido para serpentines marca Magnific o Triple D <sup>10</sup> | 3            | \$ 12.000      | \$ 36.000         |
| 12           | Llave 7/16   | 1            | \$ 2.500       | \$ 2.500          |
| 13           | Removedor de válvula   | 1            | \$ 7.000       | \$ 7.000          |
| 14           | Set de atornilladores dieléctricos (6 unidades)                            | 1            | \$ 20.600      | \$ 20.600         |
| 15           | Set de dados y chicharra   | 1            | \$ 33.900      | \$ 33.900         |
| 16           | Set de llaves punta corona   | 1            | \$ 15.000      | \$ 15.000         |
| 17           | Termómetro de pinche   | 1            | \$ 5.000       | \$ 5.000          |
| 18           | Termómetro infrarrojo  | 1            | \$ 29.990      | \$ 29.990         |
| 19           | Vacuómetro   | 1            | \$ 35.000      | \$ 35.000         |
| <b>TOTAL</b> |  |              |                | <b>\$ 393.320</b> |

Tabla 35: Stock de materiales y herramientas que se deben añadir al actual.

<sup>8</sup>: El costo de este producto no se incluye en el total presentado en la Tabla 34 dado que ya fue contabilizado como parte de las tareas preventivas.

<sup>9</sup>: Mismo caso anterior

<sup>10</sup>: Mismo caso anterior.

## 6.10. Evaluación del diseño funcional de los sistemas de aire acondicionado

Se realizó una evaluación del diseño funcional de los distintos sistemas, el cual arrojó una serie de deficiencias, principalmente, en los sistemas de aire acondicionado de los simuladores A320-1 y A320-2. Estas deficiencias guardan relación con la obsolescencia de algunos componentes, término de vida útil, falta de aislación térmica, errores de procedimientos, fallas estructurales y un bajo nivel de control del funcionamiento de los equipos.

En la Tabla 36 se presenta el resumen de los cambios de diseño propuestos, los cuales han sido ordenados de acuerdo a su urgencia o prioridad.

| Ranking      | Deficiencia detectada  | Cambios de diseño propuestos   | Inversión           | Beneficios esperados   |
|--------------|--|--|---------------------|--|
| 1.           | Término de vida útil de serpentín evaporador de equipo compacto Morrison A320-1. | Reemplazo de serpentín evaporador de equipo Compacto Morrison A320-1.        | \$1.130.738         | Aumento de un 70% en la capacidad frigorífica del equipo y menor desgaste de la unidad compresora.   |
| 2.           | Obsolescencia de tarjeta de control de equipo compacto Morrison A320-1.          | Homologación eléctrica de equipo compacto Morrison A320-1.                   | \$1.071.000         | Disminución en los tiempos de parada del equipo, gracias a una mayor disponibilidad de repuestos.  |
| 3.           | Falta de aislación térmica en puertas de bahías de simuladores A320-1 y A320-2.  | Instalación de puertas aislantes para bahías de simuladores A320-1 y A320-2. | \$14.297.130        | Mayor disponibilidad de los simuladores, incremento de la vida útil de los equipos de clima, menor gasto energético.                       |
| 4.           | Deficiente tratamiento de aguas y fisuras en cañerías de torres de enfriamiento. | Análisis de dureza de agua y cambio de cañerías en torres de enfriamiento.   | \$3.257.268         | Terminar de manera permanente con las filtraciones de agua de estos equipos, las cuales se han ido incrementando año a año.                |
| 5.           | Bajo control para monitorear el funcionamiento de los distintos equipos.         | Control centralizado básico para los sistemas de aire acondicionado.         | \$5.898.116         | Detección prematura de fallas potenciales, mejora en los tiempos de reacción ante fallas funcionales. Control a distancia de los sistemas. |
| 6.           | Baja redundancia en sistema de aire acondicionado A320-2.                        | Instalación de equipo de back up para Compacto Morrison A320-2.              | \$3.927.000         | Disminución en los tiempos de detención del simulador A320-2 producto de fallas del equipo Compacto Morrison A320-2.                       |
| <b>TOTAL</b> |  |  | <b>\$29.581.252</b> |  |

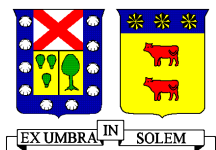
Tabla 36: Ranking de cambios de diseño propuestos.

El criterio para establecer la urgencia o prioridad de los cambios de diseño propuestos ha sido la siguiente:

- **Reemplazo de serpentín evaporador Compacto Morrison A320-1:** Se consideró como el más urgente, puesto que, en caso de no aplicarse, se esperan en el corto plazo, reiteradas detenciones del simulador A320-1, especialmente en días en que la temperatura ambiente supere los 20°C, puesto que el serpentín evaporador funciona sólo a un 30% y no podrá enfriar el aire a la temperatura de inyección requerida (7-12 °C).

Nota: En estricto rigor el reemplazo del serpentín evaporador es una sustitución cíclica y no un cambio de diseño, sin embargo se consideró como tal, puesto que fue levantado durante el análisis del diseño funcional de los sistemas de aire acondicionado.

- **Homologación eléctrica de Compacto Morrison A320-1:** La homologación eléctrica consiste en reemplazar la tarjeta de control del equipo por un sistema electromecánico. Esta opción se considera la segunda más urgente, debido a que, si ocurriese la falla de la tarjeta de control, primero, no se podría accionar el equipo compacto de emergencia (puesto que éste necesita utilizar el ventilador de impulsión del compacto Morrison, el cual estaría detenido por la falla de la tarjeta de control) y segundo, existiría el riesgo de no encontrar repuestos para la tarjeta de control, ya que la tarjeta está descontinuada en el mercado.
- **Instalación de puertas aislantes para bahías de simuladores A320-1 y A320-2:** La falta de aislación térmica de las bahías se considera la principal causa de falla de los equipos compactos de los simuladores A320, puesto a que estos deben trabajar de manera sobre exigida para alcanzar la temperatura de inyección requerida. La razón de no poner este cambio de diseño por sobre a los dos anteriores, solo obedece a que los primeros pueden presentarse de forma más inmediata. Sin embargo su aplicación generaría una



disminución muy significativa del número de fallas de todos los equipos compacto de los simuladores A320-1 y A320-2.

- **Análisis de dureza de aguas y cambio de cañerías de torres de enfriamiento:** Este cambio de diseño se considera como el cuarto más importante, puesto que permitirá reducir las frecuencias de los modos de falla de las torres de enfriamiento a niveles de entre un 0 a un 5%, por lo que se espera una importante reducción de los costos globales asociados a fallas de estos equipos, los cuales históricamente registran costos por hasta \$1,7 millones anuales.
- **Control centralizado básico para los sistemas de aire acondicionado:** La aplicación de un control centralizado básico, permitirá una detección temprana de las fallas de los equipos críticos de aire acondicionado, con lo cual se espera que los tiempos de parada de los simuladores disminuyan a un tercio de los valores estimados.
- **Instalación de equipo de back up para Compacto Morrison A320-2:** Este cambio de diseño se consideró como el de menor relevancia, dado que sólo permitirá disminuir los tiempos de parada del equipo Compacto Morrison A320-2, siendo por lo tanto, menor su impacto en la disponibilidad de los simuladores respecto a las alternativas anteriores.

En las páginas siguientes se aborda con mayor profundidad cada uno de los cambios de diseño propuestos, incluyendo cotizaciones con el detalle de los costos en materiales, mano de obra y flete.

### 6.10.1. Reemplazo de serpentín evaporador de equipo compacto Morrison A320-1

El serpentín evaporador del equipo compacto Morrison A320-1 se encuentra actualmente en su fase desgaste y no logra una adecuada transferencia de calor. Esta situación puede generar, en el corto plazo, fallas en la unidad compresora del equipo dado que tiene que trabajar de manera sobre exigida para alcanzar la temperatura de inyección requerida de 12°C.

Como solución, se propone reemplazar el serpentín evaporador, con lo que se lograría un aumento de un 70% en la capacidad frigorífica del equipo. En la Tabla 37 se presenta el presupuesto por el cambio de serpentín evaporador del equipo Morrison A320-1.

| <b>Reemplazo de serpentín evaporador Morrison A320-1</b> |       |            |                     |            |
|--|-------|------------|---------------------|------------|
|  | Cant. | Unid.      | V. Unitario         | V. Total   |
| <b>1. Componentes y materiales</b>                       |       |            |                     |            |
| 1.1. Filtro secador                                      | 1     | unidad     | \$ 15.000           | \$ 15.000  |
| 1.2. Arriendo bomba de vacío                             | 1     | unidad     | \$ 50.000           | \$ 50.000  |
| 1.3. Serpentín evaporador                                | 1     | unidad     | \$ 300.000          | \$ 300.000 |
| 1.4. Bombona refrigerante R-22                           | 1     | unidad     | \$ 60.000           | \$ 60.000  |
| 1.5. Cilindro de nitrógeno de 6 metros cúbicos con carga | 1     | unidad     | \$ 130.000          | \$ 130.000 |
| 1.6. Arriendo de equipo para soldar                      | 1     | unidad     | \$ 30.000           | \$ 30.000  |
| 1.7. Soldadura de plata al 30%                           | 1     | unidades   | \$ 60.000           | \$ 60.000  |
| <b>2. Mano de obra</b>                                   |       |            |                     |            |
| 2.1. HH mano de obra                                     | 48    | horas      | \$ 4.200            | \$ 201.600 |
| 2.2. Colaciones  | 5     | colaciones | \$ 3.200            | \$ 16.000  |
| 2.3. HH supervisión                                      | 12    | horas      | \$ 7.300            | \$ 87.600  |
| <b>TOTAL SIN IVA</b>                                     |       |            | <b>\$ 950.200</b>   |            |
| <b>TOTAL CON IVA</b>                                     |       |            | <b>\$ 1.130.738</b> |            |

Tabla 37: Presupuesto por reemplazo de serpentín evaporador de equipo compacto Morrison A320-1.

### 6.10.2. Homologación eléctrica de equipo compacto Morrison A320-1

La tarjeta de control del equipo compacto Morrison A320-1 se encuentra descontinuada en el mercado, por lo que, en caso de falla, no será posible conseguir repuestos, aumentando así la indisponibilidad del equipo y del simulador A320-1.

Como solución, se propone homologar eléctricamente el equipo, es decir, reemplazar su tarjeta de control por un sistema electromecánico. En la Tabla 38 se presenta el presupuesto por la homologación eléctrica del equipo.

#### Homologación eléctrica Morrison A320-1

|  | Cant. | Unid. | V. Unitario         | V. Total   |
|--|-------|-------|---------------------|------------|
| <b>1. Componentes y materiales</b>     |       |       |                     |            |
| 1.1. Homologación eléctrica del equipo | 1     | -     | \$ 900.000          | \$ 900.000 |
| <b>TOTAL SIN IVA</b>                   |       |       | <b>\$ 900.000</b>   |            |
| <b>TOTAL CON IVA</b>                   |       |       | <b>\$ 1.071.000</b> |            |

*Tabla 38: Presupuesto por homologación eléctrica equipo compacto Morrison A320-1.*

### 6.10.3. Instalación de puertas aislantes en bahías de simuladores A320-1 y A320-2

Los simuladores de vuelo se encuentran instalados dentro de bahías o galpones de grandes dimensiones (aprox. 20 metros de largo por 20 de ancho y 8 de alto). A su vez, cada bahía contiene una puerta móvil de 6 metros de ancho por 6,6 de alto, la cual es necesaria para facilitar el traslado de los simuladores hacia otras instalaciones. Dada la gran superficie que ocupan estas puertas (aprox. 40 m<sup>2</sup>), es necesario que cuenten con una adecuada aislación térmica, de manera de no transferir el calor exterior hacia el interior de las bahías, las cuales siempre deben mantenerse a una temperatura de 20°C.

Sin embargo, las puertas de las bahías de los simuladores A320-1 y A320-2 están hechas de metal (Figura 41), por lo que transfieren gran parte del calor recibido durante el día hacia el interior de la bahía, generando que la temperatura interior se eleve por sobre los 20°C, llegando, incluso, a los 30°C en los días de mayor calor. Esto provoca que las unidades compresoras de los equipos de aire acondicionado trabajen de manera forzada para alcanzar las temperaturas de inyección requeridas, lo cual a su vez, implica un aumento de la tasa de falla de los equipos, una disminución acelerada de su vida útil y grandes gastos de energía.



*Figura 41: Puerta metálica bahía simulador A320-1.*



Como solución, se propone instalar puertas de material aislante las cuales deben ser, idealmente, de la misma marca y modelo que la puerta instalada en la bahía del simulador B787, cuya efectividad ha sido plenamente comprobada desde que se instaló en el año 2011 (Figura 42).



*Figura 42: Puerta aislante bahía simulador B787.*

El fabricante de la puerta de la bahía del simulador B 787 es la empresa canadiense Ram Overhead Door Systems LTD, cuyo representante en Chile es Refricentro S.A., especialista en proyectos de diseño de sistemas de refrigeración desde 1979. A continuación se presenta en la Tabla 39 el presupuesto realizado por Refricentro S.A. por la instalación de ambas puertas.

|    |     | <b>REFRICENTRO S.A.</b>  |          |                     |                         |                      | pres.<br>fecha: | 08/02/2016 |
|---|-----|--|----------|---------------------|-------------------------|----------------------|-----------------|------------|
| MANDANTE SEÑOR JUAN PABLO RAFFO<br>EMPRESA: ISS CHILE<br>PROYECTO EDIFICIO SIMULADORES  |     |  |          |                     |                         |                      |                 |            |
| <b>PARTIDAS COTIZADAS</b>   |     |  |          |                     |                         |                      |                 |            |
| ITEM  | COD | DESCRIPCION  | CANTIDAD | MEDIDA<br>(mm/uni.) | P.Unitario<br>(\$/Uni.) | P. Total \$          |                 |            |
| 1   | 503 | PUERTA SECCIONAL AISLADA EN POLIURETANO INYECTADO DE 40 KG/M3 ESPESOR 45 mm. RIELES INDUSTRIALES DE 3" BURLETES PERIMETRALES, MOTORIZADA, ACCIONAMIENTO POR BOTONERA Y TECLA DE CADENA EN CASO DE CORTE DE ENERGIA ELECTRICA | 2        | 6000 x 6600         | 10.100,00               | 20.200,00            |                 |            |
| 2   | F   | FLETE A OBRA (DENTRO DE SANTIAGO)  | 1        | UN                  | 225,00                  | 225,00               |                 |            |
| 3   | MO  | INSTALACION  | 2        | UN.                 | 457,00                  | 914,00               |                 |            |
| <b>TOTAL NETO + I.V.A.</b>  |     |  |          |                     |                         | <b>USD 21.339,00</b> |                 |            |
| <b>NOTAS IMPORTANTES</b>  |     |  |          |                     |                         |                      |                 |            |
| 1.- Valores no incluyen IVA<br>2.- Forma de Pago: 50% con la orden de compra, saldo por estados de avance<br>3.- <b>Plazo de Entrega: 8 a 10 semanas</b><br>4.- No incluye obras civiles<br>5.- Validez del presupuesto 15 días |     |  |          |                     |                         |                      |                 |            |

Tabla 39: Presupuesto por instalación de puertas aislantes en bahías de simuladores A320-1 y A320-2.

Considerando el valor del dólar a \$670, la instalación de las puertas tendría un costo total de \$14.297.130 IVA incluido.

#### 6.10.4. Análisis de dureza de aguas y cambio de cañerías en torres de enfriamiento

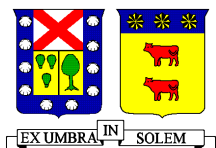
Históricamente el modo de falla dominante en las torres de enfriamiento han sido las filtraciones de agua, las cuales han ido en aumento cada año. Estas filtraciones se deben a la suma de dos factores:

1. Tratamiento de ablandamiento de agua poco eficiente, puesto que no logra eliminar el material particulado, generándose óxido y debilitamiento en las cañerías de PVC de las torres de enfriamiento.
2. Daños superficiales en las cañerías de PVC por exposición a los rayos ultravioleta del sol.

Como solución, se propone realizar un análisis en laboratorio del agua utilizada por las torres de enfriamiento, de manera determinar con certeza, la proporción de solventes requerida para eliminar los minerales presentes en el agua.

Además, se propone reemplazar las actuales cañerías de PVC por cañerías de cobre tipo M (resistente a la presión del sistema de 5 bar). Este tipo de cañerías son comúnmente utilizadas en sistemas de aire acondicionado, puesto que presentan importantes propiedades como: alta resistencia al óxido, bajo peso, maleabilidad, facilidad de unión, alta impermeabilidad, buena conductividad térmica, propiedades bactericidas y fungicidas, entre otras.

En la Tabla 40, se presenta el presupuesto por el análisis de agua y por el cambio de cañerías de PVC a cobre para las torres de enfriamiento.



**Análisis de agua y cambio de cañerías (de PVC a cobre) en torres de enfriamiento**

|   | Cant. | Unid.      | V. Unitario         | V. Total   |
|---|-------|------------|---------------------|------------|
| <b>1. Análisis de agua en laboratorio</b>       |       |            |                     |            |
| 1.1. Análisis de agua en laboratorio            | 1     | -          | \$ 80.000           | \$ 80.000  |
| <b>2. Materiales</b>                            |       |            |                     |            |
| 2.1. Cañería cobre 3" tipo M                    | 52    | metros     | \$ 15.000           | \$ 780.000 |
| 2.2. Aislación cañería                          | 52    | metros     | \$ 3.000            | \$ 156.000 |
| 2.3. Fitting                                    | 70    | unidades   | \$ 5.000            | \$ 350.000 |
| <b>3. Mano de obra y supervisión</b>            |       |            |                     |            |
| 3.1. HH mano de obra                            | 64    | horas      | \$ 4.200            | \$ 268.800 |
| 3.2. Colaciones                                 | 8     | colaciones | \$ 3.200            | \$ 25.600  |
| 3.3. HH supervisión                             | 16    | horas      | \$ 7.300            | \$ 116.800 |
| <b>4. Arriendos</b>                             |       |            |                     |            |
| 4.1. Arriendo torre de enfriamiento de respaldo | 64    | horas      | \$ 15.000           | \$ 960.000 |
| TOTAL ANÁLISIS DE AGUA                          |       |            | \$ 80.000           |            |
| TOTAL MATERIALES                                |       |            | \$ 1.286.000        |            |
| TOTAL MANO DE OBRA                              |       |            | \$ 411.200          |            |
| TOTAL ARRIENDOS                                 |       |            | \$ 960.000          |            |
| <b>TOTAL SIN IVA</b>                            |       |            | <b>\$ 2.737.200</b> |            |
| <b>TOTAL CON IVA</b>                            |       |            | <b>\$ 3.257.268</b> |            |

Tabla 40: Presupuesto por análisis de dureza de aguas y cambio de cañerías de PVC a cobre en torres de enfriamiento.

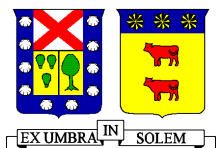
### 6.10.5. Control centralizado básico para los sistemas de aire acondicionado

Actualmente los sistemas de aire acondicionado de los simuladores, no cuentan con un sistema que permita controlar, en tiempo real, el funcionamiento de los distintos sub-sistemas. Esto trae consigo una menor capacidad de detección de fallas potenciales, mayores tiempos de reacción ante fallas funcionales y dificultad para operar los equipos de cada sistema por parte del personal técnico (los equipos se encuentran ubicados en el techo, terrazas en altura y bahías de simuladores).

Como solución, se propone instalar un sistema de control centralizado básico para los equipos de aire acondicionado más críticos de los simuladores (compactos Morrison, UMA Morrison, Chiller y torres de enfriamiento). Específicamente, se recomienda instalar el sistema Tracer SC de la empresa Trane, dado que cuenta con una alta versatilidad, confiabilidad comprobada y vigencia en el mercado. Este sistema permite operar y controlar a distancia los equipos de una instalación mediante una plataforma Web. Las funciones de control que se recomiendan incluir, en principio, son: encendido y apagado de compresores, ventiladores y bombas, revisión del estado de filtros, ventiladores y temperaturas de inyección y retorno.



Figura 43: Panel del sistema de control Tracer AC de Trane. Fuente: Catálogo de producto Trane, 2011.



**Instalación de Control Centralizado Básico**

|  | Cant. | V. Unitario         | V. Total     |
|--|-------|---------------------|--------------|
| <b>1. Controladores Compactos Morrison A320-1 y A320-2</b>   |       |                     |              |
| 1.1. Controlador UC400   | 2     | \$ 274.240          | \$ 548.480   |
| 1.2. Controlador XM32  | 2     | \$ 178.256          | \$ 356.512   |
| 1.3. Controlador XM30  | 2     | \$ 178.256          | \$ 356.512   |
| <i>Funciones: Encendido y apagado de ventilador y compresor; revisión temp. inyección y retorno, estatus de filtros y ventiladores.</i>  |       |                     |              |
| <b>2. Controladores Torres de Enfriamiento A320-1 y A320-2</b>   |       |                     |              |
| 2.1. Controlador UC600   | 2     | \$ 473.064          | \$ 946.128   |
| <i>Funciones: Encendido y apagado de torre ventilador, bomba 1 y bomba 2, revisión temp. agua torre, estatus de ventilador torre, bomba 1 y bomba 2.</i>   |       |                     |              |
| <b>3. Controladores UMA Morrison 787</b>   |       |                     |              |
| 3.1. Controlador UC600   | 1     | \$ 473.064          | \$ 473.064   |
| <i>Funciones: Alarma alta temp. agua, posición válvula de agua, encendido y apagado ventilador inyección, revisión de temp. inyección, temp. retorno, temp. de entrada agua helada y temp. de salida agua helada, estatus de ventilador y filtros.</i> |       |                     |              |
| <b>4. Controladores Chiller 787</b>  |       |                     |              |
| 4.1. Controlador UC600   | 1     | \$ 473.064          | \$ 473.064   |
| <i>Funciones: Encendido y apagado de Chiller, revisión de temp. inyección y retorno.</i>   |       |                     |              |
| <b>5. Sistema de control Trane</b>   |       |                     |              |
| 5.1. Sistema Tracer SC   | 1     | \$ 1.302.640        | \$ 1.302.640 |
| <b>6. Instalación y mano de obra</b>   |       |                     |              |
| 6.1. Valor aproximado por instalación y mano de obra.  | 1     | \$ 500.000          | \$ 500.000   |
| <b>TOTAL SIN IVA</b>   |       | <b>\$ 4.956.400</b> |              |
| <b>TOTAL CON IVA</b>   |       | <b>\$ 5.898.116</b> |              |

Tabla 41: Presupuesto por instalación de control centralizado básico.

### 6.10.6. Instalación de equipo de back up para compacto Morrison A320-2

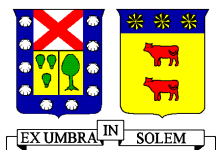
Hemos visto que los equipos compactos Morrison A320-1 y A320-2 presentan los costos globales más altos, tanto históricamente como en proyecciones futuras. Estos equipos están en serie con los simuladores de vuelo, por lo que su falla puede ocasionar la detención de estos, generando costos de ineficiencia por \$366.248<sup>11</sup> la hora de detención. El compacto Morrison A320-1 posee un equipo de back up (respaldo) en caso de presentar falla, sin embargo, el compacto Morrison A320-2 no cuenta con equipo de respaldo. De esta manera, se propone la instalación de un equipo de back up para el compacto Morrison A320-2 con el fin de reducir los tiempos de parada del simulador A320-2 en caso de presentar falla el equipo compacto. En la Tabla 42 se presenta la cotización por la instalación de un equipo de back up para el compacto Morrison A320-2 de la misma marca y modelo del equipo principal.

#### Instalación de equipo back up para Compacto Morrison A320-2

|   | Cantidad | V. Unitario  | V. Total     |
|---|----------|--------------|--------------|
| <b><u>Compra e instalación de equipo</u></b>                    |          |              |              |
| Compacto Morrison 5 TON 410-A (N° Parte CAE: PS345590-21-5-832) | 1        | \$ 3.300.000 | \$ 3.300.000 |
| <b>TOTAL SIN IVA</b>  |          | \$ 3.300.000 |              |
| <b>TOTAL CON IVA</b>  |          | \$ 3.927.000 |              |

Tabla 42: Presupuesto por instalación de equipo de back up para Compacto Morrison A320-2.

<sup>11</sup> Este valor fue entregado por el Jefe de Mantenimiento de la empresa especialista.



## 6.11. Análisis de costo global de la propuesta

A continuación se realizará el análisis de costo global de la propuesta considerando distintas alternativas de inversión.

### 6.11.1. Presentación de alternativas de inversión

Los mayores costos de inversión de la propuesta vienen dados por los cambios de diseño, los cuales fueron ordenados según su prioridad o urgencia (ver punto anterior 6.10.). Considerando lo anterior, se ha decidido establecer cuatro alternativas de inversión a evaluar, las cuales se presentan a continuación:

#### Alternativa 1:

- Implementar las tareas de mantenimiento.
- Reemplazar serpentín evaporador de compacto Morrison A320-1.
- Homologar eléctricamente compacto Morrison A320-1.

Esta alternativa requiere de una inversión de \$2,6 millones e incluye la implementación de las tareas propuestas junto a los cambios de diseño más urgentes, que son el reemplazo del serpentín evaporador <sup>12</sup> y la homologación eléctrica del compacto Morrison A320-1. Al implementar esta alternativa se espera reducir la frecuencia de los modos de falla a niveles no superiores al 30% (más detalles en punto 6.11.3. y Anexos 9.3.2.).

---

<sup>12</sup> En estricto rigor el reemplazo del serpentín evaporador no es un cambio de diseño, sino una sustitución cíclica, sin embargo se consideró como tal porque fue levantado durante la evaluación del diseño funcional de los sistemas.



### **Alternativa 2:**

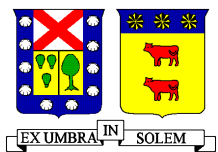
- Implementar las tareas de mantenimiento.
- Reemplazar serpentín evaporador de compacto Morrison A320-1.
- Homologar eléctricamente compacto Morrison A320-1.
- Instalar puertas aislantes en bahías de simuladores A320-1 y A320-2.
- Realizar análisis de dureza de aguas y cambiar cañerías de torres de enfriamiento.

Esta alternativa requiere de una inversión de \$20,2 millones e incluye los mismos puntos de la alternativa 1, sumado a la instalación de puertas aislantes para las bahías de los simuladores A320-1 y A320-2, un análisis de dureza de aguas y cambio de cañerías para las torres de enfriamiento. La implementación de esta alternativa permitirá disminuir la frecuencia de todos los modos de falla a niveles no superiores al 5% (más detalles en punto 6.11.3. y Anexos 9.3.3.).

### **Alternativa 3:**

- Implementar las tareas de mantenimiento.
- Reemplazar serpentín evaporador de compacto Morrison A320-1.
- Homologar eléctricamente compacto Morrison A320-1.
- Instalar puertas aislantes en bahías de simuladores A320-1 y A320-2.
- Realizar análisis de dureza de aguas y cambiar cañerías de torres de enfriamiento.
- Implementar un control centralizado básico.

Esta alternativa requiere de una inversión de \$26,1 millones e incluye los mismos puntos de la alternativa 2 más la implementación de un control centralizado básico para los equipos compactos Morrison A320-1 A320-2, UMA Morrison B787, Chiller y torres de enfriamiento. Al aplicar esta alternativa se espera disminuir a un tercio los tiempos de parada de los simuladores



gracias a una detección temprana de las fallas de estos equipos (más detalles en punto 6.11.3. y Anexos 9.3.4.).

#### **Alternativa 4:**

- Implementar las tareas de mantenimiento.
- Reemplazar serpentín evaporador de compacto Morrison A320-1.
- Homologar eléctricamente compacto Morrison A320-1.
- Instalar puertas aislantes en bahías de simuladores A320-1 y A320-2.
- Realizar análisis de dureza de aguas y cambiar cañerías de torres de enfriamiento.
- Instalar un equipo de back up (respaldo) para compacto Morrison A320-2.

Esta alternativa requiere de una inversión de \$23,2 millones e incluye los mismos puntos de la alternativa 2 más la instalación de un equipo de back up (respaldo) para el compacto Morrison A320-2, lo que permitirá disminuir los costos de ineficiencia asociados a las fallas de estos equipos (más detalles en punto 6.11.3. y Anexos 9.3.5.).

### 6.11.2. Horizonte de tiempo y tasa de interés

Se estableció un horizonte de evaluación de 10 años, puesto que se considera que es el tiempo de vida útil de los cambios de diseño propuestos.

En cuanto al cálculo de la tasa de interés, se utilizó el modelo de valorización de activos financieros conocido como CAPM. Este modelo es de amplia difusión y permite incorporar el riesgo en la tasa de interés de un proyecto. El CAPM se resume en la siguiente fórmula:

$$E(R_i) = R_f + \beta_i(E(R_m) - R_f) \quad (32) \quad (\text{Fuente: E. Contreras, 2011, pp. 58-59}).$$

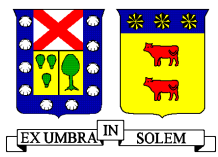
Dónde,  $R_i$  es el retorno esperado sobre el activo riesgoso  $i$ ,  $R_f$  es la tasa libre de riesgo,  $E(R_m)$  es el retorno esperado sobre el portafolio de mercado  $m$ ,  $(E(R_m) - R_f)$  es el premio por riesgo y  $\beta_i$  es el coeficiente de riesgo sistemático del activo  $i$  (E. Contreras, 2011, pp. 58-59).

Los datos necesarios para el cálculo de la tasa fueron obtenidos de las siguientes fuentes:

1. Beta y premio por riesgo de la aerolínea. Fuente: *Informe de riesgo de la aerolínea, publicado en julio de 2010 por el departamento de estudios de Banchile Inversiones.*
2. Tasa libre de riesgo. Fuente: *Base de datos estadísticos móviles del Banco Central de Chile, publicado en enero de 2016.*

De esta manera se obtuvieron los siguientes datos:

Tasa libre de riesgo ( $R_f$ ) = 3,5%; Premio por riesgo ( $E(R_m) - R_f$ ) = 5,5 %; Beta ( $\beta_i$ ) = 1,04



Luego, el cálculo de la tasa de interés dio como resultado:

$$E(R_i) = 3,5\% + 1,04 (5,5\%) = 9,22\% \quad (33)$$

Siendo 9,22% la tasa de interés a utilizar para evaluar la propuesta.

### 6.11.3. Resumen de costos

En la Tablas 43, 44 y 45 se presentan resúmenes de los costos anuales de las tareas de mantenimiento propuestas, la inversión requerida en materiales y herramientas y la inversión necesaria para los cambios de diseño.

| Equipos                                       | Costo p/equipo | N° equipos | Costo Total Anual   |
|---|----------------|------------|---------------------|
| Tareas propuestas para equipos Chiller        | \$ 474.000     | 2          | \$ 948.000          |
| Tareas propuestas para equipos compactos      | \$ 52.500      | 7          | \$ 367.500          |
| Tareas propuestas para torres de enfriamiento | \$ 80.000      | 3          | \$ 240.000          |
| Tareas propuestas para equipos de precisión   | \$ 154.000     | 3          | \$ 462.000          |
| Tareas propuestas para UMA                    | \$ 84.000      | 1          | \$ 84.000           |
| <b>TOTAL</b>                                  |                |            | <b>\$ 2.101.500</b> |

Tabla 43: Costos anuales de tareas de mantenimiento.

| Materiales y herramientas | Costo             |
|---------------------------|-------------------|
| Materiales y herramientas | \$ 393.320        |
| <b>TOTAL</b>              | <b>\$ 393.320</b> |

Tabla 44: Inversión requerida en materiales y herramientas.

| Cambios de diseño propuestos                               | Costo                |
|--|----------------------|
| Reemplazo serpentín evaporador compacto Morrison A320-1    | \$ 1.130.738         |
| Homologación eléctrica compacto Morrison A320-1            | \$ 1.071.000         |
| Aislación térmica de puertas de bahías A320-1 y A320-2     | \$ 14.297.130        |
| Análisis de agua y cambio de cañerías en T. enfriamiento   | \$ 3.257.268         |
| Control centralizado básico                                | \$ 5.898.116         |
| Equipo de back up (respaldo) para compacto Morrison A320-2 | \$ 3.927.000         |
| <b>TOTAL</b>   | <b>\$ 29.581.252</b> |

Tabla 45: Inversión requerida para cambios de diseño.

En las Tablas 46, 47, 48 y 49 se presentan los costos de reparación e ineficiencia esperados para cada una de las alternativas de inversión.

Para calcular estos costos, fue necesario estimar nuevamente (para cada alternativa de inversión) las frecuencias de falla y tiempos de parada asociados a cada modo de falla. De esta manera, los costos esperados se calcularon mediante la suma ponderada de la frecuencia de los modos de falla multiplicada por los costos de reparación e ineficiencia estimados inicialmente en el análisis RCM (ver Anexos 9.3.).

| Equipo                                 | Costo Ineficiencia Esperado | Costo Reparación Esperado | Total                |
|--|-----------------------------|---------------------------|----------------------|
| Compacto Morrison A3201                | \$ 1.501.617                | \$ 1.195.711              | \$ 2.697.328         |
| Compacto Morrison A3202                | \$ 3.580.074                | \$ 1.405.711              | \$ 5.113.972         |
| Compacto de Emergencia A320-1          | \$ -                        | \$ 1.242.842              | \$ 1.242.842         |
| Compactos Salas HPU y Bahías           | \$ -                        | \$ 934.549                | \$ 934.549           |
| Equipos de Precisión                   | \$ -                        | \$ 450                    | \$ 450               |
| Torres de Enfriamiento A320-1 y A320-2 | \$ 5.136.628                | \$ 688.800                | \$ 5.495.805         |
| Chiller B787                           | \$ 146.499                  | \$ 48.726                 | \$ 195.225           |
| UMA Morrison B787                      | \$ 183.124                  | \$ 20.214                 | \$ 221.651           |
| <b>TOTAL</b>                           | <b>\$ 10.547.942</b>        | <b>\$ 5.537.004</b>       | <b>\$ 16.084.946</b> |

Tabla 46: Costos de ineficiencia y reparación esperados *alternativa 1*.

En relación a los costos de la alternativa 1 (Tabla 46), estos se estiman por un total de \$16 millones anuales, donde los mayores costos vienen dados por los costos de ineficiencia, con \$10,5 millones anuales, mientras que los costos de reparación se estiman en \$5,5 millones anuales. Además, se observa que los equipos compactos y torres de enfriamiento presentan los mayores costos de reparación e ineficiencia con valores totales que van entre \$935 mil y \$5,5 millones anuales.

A continuación se desglosan y explican cada uno de estos costos:

- Las torres de enfriamiento presentan los costos de ineficiencia más altos con \$5,1 millones anuales, debido a que se esperan frecuencias de falla entre un 10-30% en los modos de falla relacionados con filtraciones de agua por daño de cañerías y corrosión (esta alternativa no contempla la instalación de nuevas cañerías para las torres ni el análisis de dureza de aguas).
- Los equipos compactos presentan costos de ineficiencia por hasta \$3,6 millones anuales y costos de reparación por hasta \$1,4 millones anuales, puesto que se estiman frecuencias de falla entre un 0-25% para todos los modos de falla relacionados con el circuito de refrigeración y, especialmente, con la unidad compresora. Esto se explica porque existe un bajo nivel de aislación térmica en las bahías, el cual provoca que los equipos deban trabajar continuamente para alcanzar las temperaturas de inyección requeridas, generando desgaste en todo el circuito de refrigeración, sobre todo en la unidad compresora, que es la que presenta mayor impacto mecánico.
- Los equipos de precisión y del sistema de aire acondicionado del simulador B787, presentan los costos de ineficiencia y reparación más bajos (\$450 a \$222 mil anuales), puesto que la sola aplicación de las tareas de mantenimiento propuestas (monitoreo de parámetros de funcionamiento, limpieza de filtros, ajuste de contactos, entre otros), permite estimar frecuencias de falla de entre un 0-5%.

| Equipo                                 | Costo Ineficiencia Esperado | Costo Reparación Esperado | Total               |
|--|-----------------------------|---------------------------|---------------------|
| Compacto Morrison A3201                | \$ 54.937                   | \$ 36.249                 | \$ 91.186           |
| Compacto Morrison A3202                | \$ 146.499                  | \$ 36.249                 | \$ 182.748          |
| Compacto de Emergencia A320-1          | \$ -                        | \$ 36.242                 | \$ 36.242           |
| Compactos Salas HPU y Bahías           | \$ -                        | \$ 22.714                 | \$ 22.714           |
| Equipo de Precisión A320-1             | \$ -                        | \$ 450                    | \$ 450              |
| Torres de Enfriamiento A320-1 y A320-2 | \$ 741.652                  | \$ 70.350                 | \$ 812.002          |
| Chiller B787                           | \$ 146.499                  | \$ 48.726                 | \$ 195.225          |
| UMA Morrison B787                      | \$ 183.124                  | \$ 20.214                 | \$ 203.338          |
| <b>TOTAL</b>                           | <b>\$ 1.272.712</b>         | <b>\$ 271.194</b>         | <b>\$ 1.543.905</b> |

Tabla 47: Costos de ineficiencia y reparación esperados *alternativa 2*.

En relación a los costos de ineficiencia y reparación esperados para la alternativa 2 (Tabla 47), se observa una importante disminución respecto a la alternativa 1, con un total esperado de \$1,5 millones anuales.

A continuación se desglosan y explican cada uno de estos costos:

- Los costos esperados para los equipos compactos se estiman entre \$23 mil y 183 mil anuales, debido a que se esperan frecuencias de falla entre un 0-5% gracias a la instalación de puertas con aislación térmica en las bahías, las cuales ayudarán a reducir la exigencia de los componentes del circuito de refrigeración de los equipos (en especial de las unidades compresoras) para alcanzar las temperaturas de inyección requeridas.
- Los costos esperados para las torres de enfriamiento, se estiman en \$812 mil anuales, puesto que se estiman frecuencias de falla de entre un 0-5% para todos los modos de falla relacionados con filtraciones de agua. Lo anterior se debe a que la alternativa 2 contempla el mejoramiento del tratamiento de ablandamiento de aguas de las torres y la instalación de cañerías de cobre para evitar daños por corrosión.



| Equipo                                 | Costo Ineficiencia Esperado | Costo Reparación Esperado | Costo Global Esperado |
|--|-----------------------------|---------------------------|-----------------------|
| Compacto Morrison A3201                | \$ 18.312                   | \$ 36.249                 | \$ 54.561             |
| Compacto Morrison A3202                | \$ 36.625                   | \$ 36.249                 | \$ 72.874             |
| Compacto de Emergencia A320-1          | \$ -                        | \$ 36.242                 | \$ 36.242             |
| Compactos Salas HPU y Bahías           | \$ -                        | \$ 22.714                 | \$ 22.714             |
| Equipo de Precisión A320-1             | \$ -                        | \$ 450                    | \$ 450                |
| Torres de Enfriamiento A320-1 y A320-2 | \$ 109.874                  | \$ 70.350                 | \$ 180.224            |
| Chiller B787                           | \$ -                        | \$ 48.726                 | \$ 48.726             |
| UMA Morrison B787                      | \$ 36.625                   | \$ 20.214                 | \$ 56.839             |
| <b>TOTAL</b>                           | <b>\$ 201.436</b>           | <b>\$ 271.194</b>         | <b>\$ 472.630</b>     |

Tabla 48: Costos de ineficiencia y reparación esperados *alternativa 3*.

En relación a los costos esperados para la alternativa 3 (Tabla 48), se observa que los costos de ineficiencia se estiman en \$201 mil anuales, siendo este valor incluso menor a los costos de reparación estimados en \$271 mil anuales.

Lo anterior se explica por la disminución de los tiempos de parada estimados, para los equipos compactos Morrison, torres de enfriamiento, UMA Morrison y chiller, puesto que esta alternativa incluye implementar un control centralizado básico para estos equipos, de modo de monitorear y controlar su funcionamiento, asegurando una detección temprana de fallas potenciales y un menor tiempo de reacción ante fallas en curso.

| Equipo                                 | Costo Ineficiencia Esperado | Costo Reparación Esperado | Total               |
|--|-----------------------------|---------------------------|---------------------|
| Compacto Morrison A3201                | \$ 54.937                   | \$ 36.249                 | \$ 91.186           |
| Compacto Morrison A3202                | \$ 54.937                   | \$ 36.249                 | \$ 91.186           |
| Compacto de Emergencia A320-1          | \$ -                        | \$ 36.242                 | \$ 36.242           |
| Compactos Salas HPU y Bahías           | \$ -                        | \$ 22.714                 | \$ 22.714           |
| Equipo de Precisión A320-1             | \$ -                        | \$ 450                    | \$ 450              |
| Torres de Enfriamiento A320-1 y A320-2 | \$ 741.652                  | \$ 70.350                 | \$ 812.002          |
| Chiller B787                           | \$ 146.499                  | \$ 48.726                 | \$ 195.225          |
| UMA Morrison B787                      | \$ 183.124                  | \$ 20.214                 | \$ 203.338          |
| <b>TOTAL</b>                           | <b>\$ 1.181.150</b>         | <b>\$ 271.194</b>         | <b>\$ 1.543.905</b> |

Tabla 49: Costos de ineficiencia y reparación esperados *alternativa 4*.

En relación a los costos esperados para la alternativa 4 (Tabla 49), se observa que los únicos costos que varían respecto a la alternativa 2, son los costos de ineficiencia del equipo compacto Morrison A320-2, los cuales se estiman por el mismo valor que para el compacto Morrison A320-1. Esto último se explica porque el conmutador del equipo de back up del compacto Morrison A320-2 también será el técnico de mantenimiento y porque, además, los pasos necesarios para su instalación serán exactamente los mismos que en el caso del compacto Morrison A320-1.

#### 6.11.4. Fórmulas y factor de actualización a utilizar

Para cada alternativa se analizarán los costos de inversión requeridos, sumados a la proyección a 10 años, de los costos de reparación, ineficiencia y de las tareas de mantenimiento propuestas. Los costos de operación no serán incluidos, puesto que se consideran constantes y despreciables. De esta manera, la fórmula de costo global quedará como:

$$\text{Costos Globales} = C. \text{Inversión} + C. \text{Reparación} + C. \text{Ineficiencia} + C. \text{Tareas} \quad (34)$$

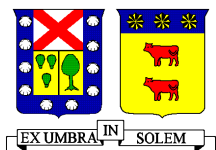
Luego, dado que los períodos son iguales, se aplicará el siguiente factor de actualización:

$$f = \frac{(1+i)^n - 1}{(1+i)^n \cdot i} = \frac{(1+0,0922)^{10} - 1}{(1,0922)^{10} \cdot 0,0922} = 6,35597 \dots \approx 6,36 \quad (35)$$

Este factor se aplicará para proyectar a 10 años los costos de reparación, ineficiencia y de las tareas preventivas propuestas. De esta manera la fórmula de costos globales quedará cómo:

$$C \text{ Glob.} = C. \text{Inv.} + (C. \text{Rep.} + C. \text{Ineficiencia} + C. \text{Tareas}) \cdot F \quad (36)$$

$$C \text{ Glob.} = C. \text{Inv.} + (C. \text{Rep.} + C. \text{Ineficiencia} + C. \text{Tareas}) \cdot 6,36 \quad (37)$$



### 6.11.5. Resultados de costos globales

#### Alternativa 1:

- Implementar las tareas de mantenimiento.
- Reemplazar serpentín evaporador de compacto Morrison A320-1.
- Homologar eléctricamente compacto Morrison A320-1.

Datos:

$i = 9,22\%$ ;  $n = 10$  años;  $F = 6,36$ ;  $C. Inv. = \$ 2.595.058$ ;

$C. Inef. = \$ 10.547.942$ ;  $C. Rep. = \$ 6.471.553$ ;  $C. Tareas = \$ 2.101.500$

$$C. glob. alt.1 = 2.595.058 + (10.547.942 + 6.471.553 + 2.101.500) \cdot 6,36 = \$ 124.204.587$$

#### Alternativa 2:

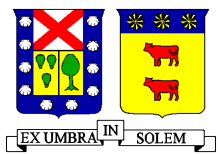
- Implementar las tareas de mantenimiento.
- Reemplazar serpentín evaporador de compacto Morrison A320-1.
- Homologar eléctricamente compacto Morrison A320-1.
- Instalar puertas aislantes en bahías de simuladores A320-1 y A320-2.
- Realizar análisis de dureza de aguas y cambiar cañerías de torres de enfriamiento.

Datos:

$i = 9,22\%$ ;  $n = 10$  años;  $F = 6,36$ ;  $C. Inv. = \$ 20.149.456$ ;

$C. Inef. = \$ 1.272.712$ ;  $C. Rep. = \$ 293.908$ ;  $C. Tareas = \$ 2.101.500$

$$C. glob. alt.2 = 20.149.456 + (1.272.712 + 293.908 + 2.101.500) \cdot 6,36 = \$ 43.478.695$$



### Alternativa 3:

- Implementar las tareas de mantenimiento.
- Reemplazar serpentín evaporador de compacto Morrison A320-1.
- Homologar eléctricamente compacto Morrison A320-1.
- Instalar puertas aislantes en bahías de simuladores A320-1 y A320-2.
- Realizar un análisis de dureza de aguas y cambiar cañerías de torres de enfriamiento.
- Implementar un control centralizado básico.

Datos:

$i = 9,22\%$ ;  $n = 10$  años;  $F = 6,36$ ;  $C. Inv. = \$ 26.047.572$ ;

$C. Inef. = \$ 201.436$ ;  $C. Rep. = \$ 293.908$ ;  $C. Tareas = \$ 2.101.500$

$$C. glob. alt.3 = 26.047.572 + (201.436 + 293.908 + 2.101.500) \cdot 6,36 = \$ 42.563.500$$

### Alternativa 4:

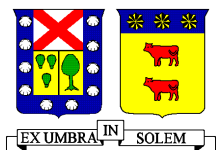
- Implementar las tareas de mantenimiento.
- Reemplazar serpentín evaporador de compacto Morrison A320-1.
- Homologar eléctricamente compacto Morrison A320-1.
- Instalar puertas aislantes en bahías de simuladores A320-1 y A320-2.
- Realizar análisis de dureza de aguas y cambiar cañerías de torres de enfriamiento.
- Instalar equipo de back up para compacto Morrison A320-2.

Datos:

$i = 9,22\%$ ;  $n = 10$  años;  $F = 6,36$ ;  $C. Inv. = \$ 24.076.456$ ;

$C. Inef. = \$ 1.181.150$ ;  $C. Rep. = \$ 293.908$ ;  $C. Tareas = \$ 2.101.500$

$$C. glob. alt.4 = 24.076.456 + (1.181.150 + 293.908 + 2.101.500) \cdot 6,36 = \$ 46.823.361$$



## Resultado final:

Según el análisis de costos globales, la alternativa 3 es la más conveniente, dado que proyecta los menores costos globales, con un costo estimado a 10 años de \$42,6 millones, incluyendo la inversión requerida de \$26 millones.

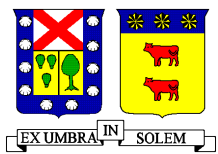
La segunda mejor alternativa es la 2 con un costo estimado de \$43,5 millones (sólo un 2% mayor a la alternativa 3), incluyendo la inversión requerida de \$20, 1 millones (un 23% menor a la alternativa 3).

Por otro lado, se observa que la alternativa 4 resulta menos conveniente que las dos anteriores, puesto que proyecta costos globales por \$46,8 millones. Además presenta una reducción muy limitada de los costos de ineficiencia (sólo un 7% menos a los de alternativa 2<sup>13</sup>) y requiere de una alta inversión (\$24,1 millones).

Finalmente la alternativa 1 es claramente la menos conveniente puesto que, si bien, requiere de una baja inversión, proyecta costos globales por \$124,2 millones (prácticamente 3 veces los costos globales de las alternativas 2, 3 y 4). Esto se explica porque esta alternativa no incluye la aislación térmica de las bahías A320-1 y A320-2, la cual resulta fundamental para reducir los costos globales de todos los equipos compactos utilizados en esos sistemas.

---

<sup>13</sup> La alternativa 4 incluye los mismos puntos de la alternativa 2, más la instalación de un equipo de back up para el compacto Morrison A320-2.



## 6.12. Propuesta de modelo de gestión de mantenimiento

A continuación se presenta la propuesta de modelo de gestión de mantenimiento para los sistemas de aire acondicionado de los simuladores de vuelo. Para esto se tomó como referencia el modelo publicado en el año 2013 por los académicos P. Viveros, R. Stegmaier, F. Kristjanpoller, L. Barbera y A. Crespo. Dicho modelo integra distintos sistemas de gestión puestos en práctica en empresas de amplia tradición y excelencia en este campo. Concretamente este modelo consiste en la implementación de siete etapas secuenciales:

1. Análisis de la situación actual, definición de objetivos, estrategias y responsabilidades de mantenimiento.
2. Jerarquización de equipos.
3. Análisis de puntos débiles en equipos de alto impacto.
4. Diseño de planes de mantenimiento y recursos necesarios.
5. Programación de mantenimiento y optimización en la asignación de recursos.
6. Evaluación y control en la ejecución del mantenimiento.
7. Análisis del ciclo de vida y de la posible renovación de equipos.

En las páginas siguientes se presenta una serie de recomendaciones para implementar un sistema de gestión de mantenimiento para los sistemas de aire acondicionado de los simuladores de vuelo.

### **6.12.1. Análisis de la situación actual, definición de objetivos, estrategias y responsabilidades de mantenimiento.**

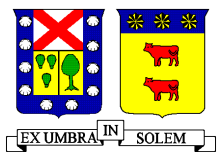
Actualmente los sistemas de aire acondicionado de los simuladores de vuelo, si bien son mantenidos por personal calificado, no se encuentran regidos por un plan global de mantenimiento alineado a los intereses de negocio de las principales partes interesadas (aerolínea y empresa especialista). Esta situación genera un clima de incertidumbre para la empresa de facility, puesto que no tiene una guía clara para llevar adelante una adecuada gestión del mantenimiento.

Debido a lo anterior, se recomienda reunir, en el corto plazo, a autoridades de la aerolínea y de la empresa especialista, para establecer, en base a sus necesidades de negocio, las bases de un sistema de gestión global de mantenimiento para toda la instalación, incluyendo, por supuesto, a los simuladores de vuelo y al sistema de aire acondicionado analizado. Para esto, es necesario que ambas partes definan los objetivos (metas) a lograr, estableciendo estrategias para perseguir dichos objetivos y detallando las responsabilidades del personal a nivel operacional y gerencial.

Para lograr establecer las bases de un sistema de gestión global para la instalación se requiere:

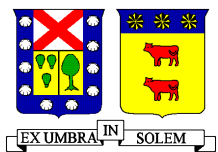
- Determinar, en base a los objetivos corporativos de la aerolínea y empresa especialista, los objetivos de mantenimiento, como por ejemplo: valores estimados y realistas de indicadores de gestión como disponibilidad de equipos, confiabilidad, seguridad, riesgo, etc.
- Determinar el desempeño o rendimiento actual, tanto de los simuladores de vuelo, como de los otros sistemas de la instalación, comparando estos valores con sus capacidades nominales.
- Determinar los indicadores claves para la evaluación del rendimiento de los simuladores y demás sistemas de la instalación.





En cuanto a la situación actual de los sistemas de aire acondicionado de los simuladores de vuelo se destaca lo siguiente:

- Los sistemas de aire acondicionado de los simuladores A320-1 y A320-2 presentan importantes deficiencias de diseño, las cuales deben ser abordadas en el corto y mediano plazo. Estas deficiencias se relacionan principalmente con los equipos compactos Morrison A320-1 y A320-2 y torres de enfriamiento. Dentro de estas deficiencias se detectó una baja aislación térmica en las bahías de los simuladores A320-1 y A320-2, lo cual provoca que los equipos de aire acondicionado deban trabajar de forma sobre exigida, aumentando las probabilidades de fallas (ver punto 6.10).
- Reforzando lo anterior, según datos históricos, entre los años 2011 y 2014 los sistemas de aire acondicionado de los simuladores A320-1 y A320-2, han sido los que han presentado mayor número de fallas, las cuales han generado costos de ineficiencia (debido a detenciones de los simuladores) por hasta \$9,7 millones anuales y costos de reparación por hasta \$11,2 millones anuales.
- Se detectó, además, un bajo nivel de respuesta ante fallas potenciales en curso, puesto que no existe un sistema de control para monitorear los parámetros de funcionamiento de los equipos y generar alarmas en caso de detectar no conformidades. Esto toma importancia teniendo en consideración que estos equipos deben funcionar 20 horas al día, los 365 días al año. En el punto 6.10.5. se propone la instalación de un control centralizado básico para los equipos de aire acondicionado de los simuladores.
- En relación al punto anterior, se recomienda generar un procedimiento de contingencias ante situaciones de emergencia como fallas de equipos críticos y semi-críticos, cortes de energía, incendios, terremotos, etc.



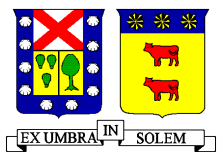
- Por otro lado, los sistemas de aire acondicionado de los simuladores no cuentan con un sistema de registro de fallas que permita aplicar métodos de análisis más exactos, cómo cálculo de probabilidad de falla, disponibilidad esperada y confiabilidad esperada. Para subsanar esto, se recomienda generar una planilla de registro de fallas y detenciones, la cual debe considerar el registro de los siguientes datos:
  - a) Fecha de detención.
  - b) Hora de comienzo.
  - c) Hora de término (o duración de la detención).
  - d) Equipo (o componente) en falla.
  - e) Tipo de mantenimiento (preventivo o correctivo).
- Finalmente es necesario destacar que actualmente, no se cuenta con adecuado stock de materiales y herramientas para la mantención de los equipos de aire acondicionado de los simuladores. Para mejorar esta situación se levantó una propuesta de stock de materiales y herramientas basada en las necesidades de estos sistemas (ver capítulo 6.9.).

### 6.12.2. Jerarquización de equipos de aire acondicionado de simuladores de vuelo.

En la Tabla 50 se presenta la jerarquización de los equipos de aire acondicionado de los simuladores de vuelo. Esta jerarquización se realizó en base a los costos de ineficiencia y reparación esperados en caso de no aplicarse ningún tipo de mantenimiento preventivo (ver Anexos 9.3.1.).

| Equipo                          | Costo Ineficiencia Esperado | Costo Reparación Esperado | Costo Global Esperado | Criticidad   |
|---------------------------------|-----------------------------|---------------------------|-----------------------|--------------|
| Compacto Morrison A3202         | \$ 19.594.268               | \$ 3.690.631              | \$ 23.284.899         | Crítico      |
| UMA Morrison B787               | \$ 10.980.115               | \$ 502.193                | \$ 11.482.308         | Crítico      |
| Compacto Morrison A3201         | \$ 6.500.902                | \$ 3.690.631              | \$ 10.191.533         | Crítico      |
| Chiller B787                    | \$ 2.926.322                | \$ 6.022.905              | \$ 8.949.227          | Semi-Crítico |
| Chiller B787 (Back up)          | \$ 2.926.322                | \$ 6.022.905              | \$ 8.949.227          | Semi-Crítico |
| Torres de Enfriamiento 1 A320-1 | \$ 7.180.292                | \$ 600.370                | \$ 7.780.662          | Semi-Crítico |
| Torres de Enfriamiento 1 A320-2 | \$ 7.180.292                | \$ 600.370                | \$ 7.780.662          | Semi-Crítico |
| Torres de Enfriamiento 2 A320-2 | \$ 7.180.292                | \$ 600.370                | \$ 7.780.662          | Semi-Crítico |
| Equipo de Precisión A320-1      | \$ 4.761.224                | \$ 2.352.800              | \$ 7.114.024          | Semi-Crítico |
| Equipo de Precisión A320-2      | \$ 4.761.224                | \$ 2.352.800              | \$ 7.114.024          | Semi-Crítico |
| Equipo de Precisión B787        | \$ 4.761.224                | \$ 2.352.800              | \$ 7.114.024          | Semi-Crítico |
| Compacto de Emergencia A320-1   | \$ -                        | \$ 3.130.955              | \$ 3.130.955          | Semi-Crítico |
| Compacto Bahía A320-1           | \$ -                        | \$ 1.094.888              | \$ 1.094.888          | No Crítico   |
| Compacto Bahía A320-2           | \$ -                        | \$ 1.094.888              | \$ 1.094.888          | No Crítico   |
| Compacto Bahía B787             | \$ -                        | \$ 1.094.888              | \$ 1.094.888          | No Crítico   |
| Compacto Sala HPU B787          | \$ -                        | \$ 1.094.888              | \$ 1.094.888          | No Crítico   |
| <b>TOTAL</b>                    |                             |                           | <b>\$ 115.051.755</b> |              |

Tabla 50: Jerarquización de equipos de aire acondicionado de simuladores de vuelo.



Los equipos mostrados en la Tabla 50 se clasificaron como críticos, semi-críticos y no críticos, siguiendo el siguiente criterio (basado en lo estipulado en el punto 6.4.):

- Críticos: Equipos con costos globales esperados mayores o iguales a los \$10 millones anuales.
- Semi-críticos: Equipos con costos globales esperados mayores o iguales a los \$3 millones anuales pero menores a los \$10 millones anuales.
- No críticos: Equipos con costos globales esperados menores a los \$3 millones anuales.

### 6.12.3. Análisis de puntos débiles en equipos de alto impacto

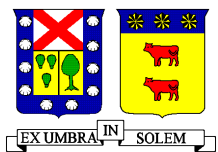
#### 6.12.3.1. Equipos Críticos

##### **Equipos Compactos Morrison A320-1 y A320-2:**

Estos equipos presentan una importante deficiencia de diseño relacionada con una baja aislación térmica de las bahías donde se encuentran operando respecto a la temperatura exterior. Esta baja aislación genera que estos equipos trabajen de manera forzada y continua para lograr entregar la temperatura de inyección requerida por los simuladores de vuelo. Para solucionar esta situación se propone instalar puertas con aislación térmica en las bahías, cuya efectividad ha quedado demostrada en el caso del simulador B787 (más detalles en el punto 6.10.3).

En el caso del Compacto Morrison A320-1, este requiere, además, del cambio de su serpentín evaporador, puesto que se encuentra trabajando a sólo un 30% de su capacidad nominal y de la homologación eléctrica del equipo, debido a que su tarjeta de control ya no se vende en el mercado y en caso de falla, no será posible conseguir repuestos (más información en puntos 6.10.1. y 6.10.2.).

Por otro lado, se hace el alcance que no resulta conveniente aumentar la redundancia del equipo compacto Morrison A320-2, puesto que, según el análisis de costos globales del punto 6.11., al instalar un equipo de back up (alternativa 4) se logrará una reducción muy baja en los costos de ineficiencia en comparación a los costos de inversión requeridos.



### **UMA Morrison B787:**

Este equipo, si bien, presenta costos de ineficiencia esperados por cerca de \$11 millones anuales (en caso de no realizar ningún mantenimiento preventivo) no posee puntos débiles de consideración (a excepción del bajo poder de respuesta ante fallas potenciales en curso mencionado anteriormente, cuya solución se presenta en el punto 6.10.5.). De esta manera, según el análisis RCM realizado, este equipo sólo requiere de la aplicación de las tareas de mantenimiento propuestas en el punto 6.7. y de la implementación del control centralizado básico mencionado en el punto 6.10.5.

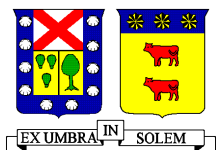
#### *6.12.3.2. Equipos Semi-Críticos*

#### **Equipos Chiller y de Precisión:**

Al igual que en el caso de la UMA Morrison estos equipos no poseen puntos débiles de consideración. Sin embargo, en el caso de los equipos Chiller, existe un bajo poder de respuesta ante fallas potenciales en curso (ver solución propuesta en el punto 6.10.5.)

#### **Torres de enfriamiento:**

Estos equipos históricamente han presentado filtraciones de agua debido a un tratamiento de dureza de aguas poco eficiente y al desgaste de las cañerías de PVC de las torres producto de la exposición permanente a los rayos ultra violeta del sol. Para solucionar esta situación en el punto 6.10.4., se propone realizar un análisis de dureza de aguas e instalar cañerías de cobre para las torres de enfriamiento.



## **Compacto de emergencia:**

Este equipo también se ve afectado por la falta de aislación térmica en la bahía del simulador A320-1, por lo que se recomienda implementar las tareas de mantenimiento propuestas (ver punto 6.7.) junto a la instalación de puertas aislantes (ver punto 6.10.3.).

### **6.12.4. Diseño de planes de mantenimiento y recursos necesarios**

Este trabajo permitió obtener tareas de mantenimiento aplicables y efectivas y 6 propuestas de cambio de diseño. Las tareas de mantenimiento requieren de 505 horas anuales de down time, una inversión de \$393 mil y un gasto de \$2,1 millones anuales.

Los resultados de la propuesta fueron sometidos a un análisis de costo global a 10 años, con una tasa de interés del 9,22%. Este análisis dio como resultado que la mejor alternativa era aplicar todas las tareas de mantenimiento y los cinco primeros cambios de diseño propuestos, ya que proyectaban los menores costos globales con un total de \$42,6 millones y una inversión total requerida de \$26 millones.

### **6.12.5. Programación del mantenimiento y optimización en la asignación de recursos:**

Este trabajo no contempló la programación detallada del mantenimiento de los equipos de aire acondicionado de los simuladores, puesto que dicha labor quedará a cargo del planificador de mantenimiento de la empresa de facility.

#### **6.12.6. Evaluación y control de la ejecución del mantenimiento:**

Esta etapa se puede realizar una vez definidos los objetivos y KPI de mantenimiento (por parte de la empresa especialista y la aerolínea) y establecida la programación detallada de las tareas propuestas (por parte de la empresa de facility).

El control de la ejecución ayudará a realimentar y optimizar el diseño de los planes de mantenimiento propuestos mejorando su eficacia y eficiencia. Para lograr esto, se recomienda implementar un sistema de información para los equipos de aire acondicionado de los simuladores. Este sistema debe permitir generar un historial de vida de los equipos, el cual incluya registros de fallas y detenciones, mantenimientos correctivos y preventivos, costos de reparación e ineficiencia, entre otros datos relevantes. Es de vital importancia que la información recogida sea útil y fiable, lo cual requiere que los documentos de captación de datos sean estándar y fáciles de entender para los operarios y mantenedores de los equipos.

#### **6.12.7. Análisis del ciclo de vida y de la posible renovación de equipos**

Se recomienda realizar anualmente un análisis de costo global para evaluar cuantitativamente la conveniencia de renovar los equipos o realizar cambios de diseño. Se puede tomar como referencia el análisis de costos globales realizado para esta propuesta (ver punto 6.11.).



## 7. CONCLUSIONES

- Este propuesta fue realizada para una importante empresa dedicada a la industria del facility management, la cual es responsable de la operación y mantenimiento de los sistemas de aire acondicionado de los simuladores de vuelo A320-1, A320-2 y B-787. Estos sistemas son considerados de alta criticidad, dado que su falla puede generar la detención de los simuladores de vuelo, ocasionando costos de ineficiencia para la empresa dueña de los simuladores (empresa especialista), costos de reparación para la empresa dueña de las instalaciones donde se encuentran los simuladores y cliente directo de la empresa de facility (aerolínea) y costos ocultos para la empresa de facility, debido a la baja calidad de servicio. No obstante lo anterior, la empresa de facility no contaba con una estrategia de mantenimiento para estos sistemas, lo cual se consideró como un riesgo para los intereses de negocio de las 3 empresas mencionadas. Es así, como este trabajo busco generar una estrategia de mantenimiento para los sistemas de aire acondicionado de los simuladores de vuelo, con el fin de maximizar su disponibilidad a mínimo costo global, considerando, además, aspectos relevantes, tales como, la mejora continua, el aseguramiento del buen funcionamiento de los equipos, la minimización de las consecuencias de falla, el análisis de ciclo de vida de los activos, entre otros.
- El objetivo general de este trabajo fue *“Proponer una estrategia de mantenimiento para sistemas de aire acondicionado de alta criticidad, mediante la aplicación de la metodología de Mantenimiento Centrada en Confiabilidad (RCM), enmarcada en una política de confiabilidad operacional”*. Este objetivo fue logrado en su totalidad, puesto que se generó una propuesta concreta de mantenimiento a través de la aplicación sistemática de la metodología RCM, tomando, además, como referencia los lineamientos de la confiabilidad operacional. De esta manera, los resultados obtenidos consistieron en una serie de tareas preventivas y correctivas, criterios de operación, stock de

herramientas, cambios de diseño y un modelo de gestión para asegurar la mejora continua. Para lograr el objetivo general fue necesario cumplir con cuatro objetivos específicos.

- El primer objetivo específico “*Incorporar en el equipo de mantenimiento y operación de los sistemas analizados los conceptos y metodología del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM), tanto a nivel de diseño como en la operación de los sistemas de apoyo*”, fue logrado puesto que se logró transmitir adecuadamente al equipo de trabajo el fin de la metodología RCM y los distintos pasos de esta, verificándose, luego, las ventajas de su implementación puesto que se obtuvieron planes de mantenimiento ajustados a la necesidad del negocio y al contexto operacional de la instalación.
- El segundo objetivo específico “*Realizar un análisis de las funciones, fallas, causas de fallas (modos de falla), consecuencias y efectos de falla (FMECA) de cada sub-sistema*”, si bien fue logrado, tuvo un difícil comienzo, debido a que se inició el análisis utilizando una estrategia poco conveniente, la cual iba desde lo particular a lo general, analizando con similar profundidad, tanto modos de falla críticos como no críticos. Lo anterior generó un avance lento y un desgaste en el equipo de trabajo. Afortunadamente, gracias a la alarma oportuna dada por el profesor guía, esta situación pudo ser corregida a tiempo, cambiándose la estrategia hacia el enfoque correcto, es decir, desde lo general a lo particular, destinando mayores recursos para el estudio de fallas críticas y menos recursos para el análisis de aquellas menos críticas. Esto permitió una notoria reducción en los tiempos de trabajo, un análisis más exhaustivo de las fallas críticas y una mayor motivación por parte del equipo de trabajo.
- El tercer objetivo específico “*Evaluar el diseño funcional de cada sub-sistema*” también fue logrado completamente, obteniéndose seis propuestas de cambios de diseño, las

cuales se ordenaron, según su prioridad, tal como sigue: reemplazo de serpentín evaporador para equipo compacto Morrison A320-1<sup>14</sup> (costo: \$1,1 millones), homologación eléctrica del equipo Compacto Morrison A320-1 (costo: \$1 millón), instalación de puertas aislantes en bahías A320-1 y A320-2 (costo: \$14,3 millones), análisis de dureza de aguas y cambio de cañerías de Torres de Enfriamiento (costo: \$3,3 millones), instalación de un control centralizado básico (costo: \$5,9 millones) e instalación de un equipo de back up para el compacto Morrison A320-2 (costo: \$3,9 millones).

- El cuarto objetivo específico *“Proponer, de acuerdo al análisis realizado, planes de mantenimiento correctivo y preventivo, mejoras de diseño, criterios de operación y un sistema de gestión que permita asegurar la mejora continua”* se logró en su totalidad, teniendo por resultado una serie de tareas preventivas aplicables y efectivas para cada tipo de equipo, recomendaciones de operación, un stock de materiales y herramientas para la correcta aplicación de las tareas de mantenimiento propuestas, mejoras de diseño con sus respectivas justificaciones tanto técnicas como económicas y una propuesta de gestión de mantenimiento para asegurar la mejora continua.
- En relación a las tareas de mantenimiento, se propusieron tareas específicas para cada familia de equipo (chiller, equipos compactos, equipos de precisión, torres de enfriamiento y unidades manejadoras de aire), siendo luego estas tareas sometidas a un análisis de factibilidad técnica y conveniencia económica.

---

<sup>14</sup> : En estricto rigor este reemplazo no corresponde a un cambio de diseño, sino a una sustitución de componente por término de vida útil. No obstante, se consideró como cambio de diseño, dado que fue levantado durante el análisis del diseño funcional de los equipos.

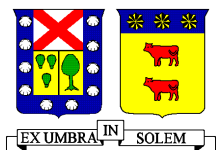
- Para analizar la factibilidad técnica se comparó el down time requerido<sup>15</sup> por las tareas propuestas en relación al down time efectivo para tales propósitos. El down time efectivo se estimó en 1.460 horas anuales (según los antecedentes entregados por personal técnico) mientras que el down time requerido se estimó en 505 horas anuales. Por lo tanto, se consideró que todas las tareas de mantenimiento propuestas eran técnicamente factibles.
- Para determinar la conveniencia económica de las tareas, se comparó el costo anual de aplicarlas, con los costos de ineficiencia y de reparación estimados en caso de no realizar ningún tipo de mantenimiento preventivo. Este análisis determinó que todas las tareas propuestas eran económicamente convenientes, puesto que el costo de aplicarlas, estimado en \$2,1 millones anuales, resultó muy inferior a los costos de ineficiencia y reparación esperados en caso de no realizarlas, los cuales alcanzaron los \$78,8 y 36,3 millones anuales respectivamente.
- En cuanto al stock de materiales y herramientas propuesto (ver punto 6.9.), se consideró este como básico e indispensable para poder aplicar las tareas preventivas recomendadas. La inversión requerida para el stock propuesto es de \$393 mil.
- Respecto al análisis de costo global de la propuesta, se evaluaron cuatro alternativas de inversión. La alternativa 1, consistía en la implementación de las tareas propuestas junto a los cambios de diseño más urgentes; la alternativa 2, incluía los mismos ítems de la alternativa 1, más la aislación térmica de las bahías A320-1 y A320-2 y los cambios de diseño propuestos para las torres de enfriamiento; la alternativa 3, contenía a su vez los mismos ítems de la alternativa 2, más la instalación de un control centralizado básico;

---

<sup>15</sup> Dow time se refiere al tiempo de no producción, el cual en el caso de este trabajo correspondió al tiempo de no uso de los simuladores de vuelo.

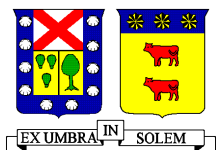
finalmente, la alternativa 4, incluía los ítems de la alternativa 2, más la instalación de un equipo de back up para el compacto Morrison A320-2.

- Para evaluar las alternativas de inversión se utilizó un horizonte de evaluación a 10 años, debido a que es el tiempo de vigencia estimado para los cambios de diseño propuestos; además se utilizó una tasa de interés del 9,22% calculada mediante el método CAPM.
- Los resultados del análisis de costo global, determinaron que la alternativa 3 era la más conveniente, puesto que era la de menor costo global con un valor de \$42,6 millones, incluyendo la inversión inicial de \$26 millones. La segunda mejor alternativa fue la 2, con un costo global estimado de \$43,5 millones, incluyendo la inversión inicial de \$20,1 millones. Por último, las alternativas 1 y 4 fueron las que proyectaron los mayores costos globales con \$124,2 y \$46,8 millones respectivamente.
- El análisis de costos globales evidenció, además, que la “instalación de puertas con aislamiento térmica para las bahías A320-1 y A320-2”, era el cambio de diseño de mayor impacto en los costos globales, puesto que la única alternativa que no lo incluía (la alternativa 1), proyectó costos globales por casi tres veces a los estimados por las alternativas 2, 3 y 4.
- Luego, en base a los resultados del análisis de costos globales, se desarrolló una propuesta de modelo de gestión de mantenimiento para asegurar la mejora continua. Para esto, se tomó como referencia el modelo publicado el año 2013 por los académicos Viveros, P., Stegmaier, R., Kristjanpoller F., Barbera, L. y Crespo A., el cual describe 7 pasos secuenciales para obtener un sistema de gestión optimizado y de mejora continua. Estos pasos son: 1: “análisis de la situación actual y definición de objetivos, estrategias y responsabilidades de mantenimiento”, 2: “jerarquización de equipos”, 3: “análisis de puntos débiles en equipos de alto impacto”, 4: “diseño de planes de mantenimiento y



recursos necesarios”, 5: “programación de mantenimiento y optimización de recursos”, 6: “evaluación y control de la ejecución del mantenimiento” y 7: “análisis del ciclo de vida y de la posible renovación de equipos”.

- En relación al paso 1, se hizo mención de que los sistemas analizados, no se encuentran regidos por un plan global de mantenimiento para la instalación, lo cual genera un clima de incertidumbre para la empresa de facility. Por esta razón se recomendó reunir en el corto plazo a autoridades de la aerolínea y de la empresa especialista para establecer, en base a sus necesidades de negocio, los objetivos, estrategias y responsables de la gestión de mantenimiento de la instalación.
- En cuanto a la situación actual de los equipos de aire acondicionado de los simuladores, se mencionó la detección de importantes deficiencias de diseño, principalmente en los equipos compactos Morrison A320-1 y A320-2 y en las torres de enfriamiento, siendo recomendable abordar estas deficiencias en el corto y mediano plazo. También se expuso la necesidad de generar un procedimiento de contingencias para situaciones de emergencia, una planilla para el registro de fallas y detenciones de los equipos y un stock de materiales y herramientas para la mantención de los equipos de aire acondicionado de los simuladores.
- En el paso 2, se estableció la jerarquización de los equipos de aire acondicionado de los simuladores, en base a los costos esperados de ineficiencia y reparación en el caso de no realizar ningún tipo de mantenimiento preventivo. De esta manera se clasificaron como críticos los equipos compacto Morrison A320-1, compacto Morrison A320-2 y UMA Morrison; como semi-críticos los equipos Chiller, torres de enfriamiento, equipos de precisión y compacto de emergencia; y como no críticos los equipos compactos de las bahías y salas HPU.

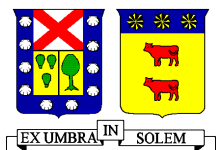


- En el paso 3, se describieron los puntos débiles encontrados en los equipos compactos Morrison, compacto de emergencia y torres de enfriamiento. Estos puntos débiles correspondieron principalmente a las deficiencias de diseño mencionadas en el paso 1.
- En el paso 4, se especificaron los resultados del análisis RCM y los recursos necesarios para su implementación: 505 horas anuales de down time, una inversión \$26 millones y un costo anual de \$2,1 millones.
- En cuanto a los pasos 5 y 6, se explicó que estos sólo pueden definirse, una vez establecidos los objetivos, estrategias y responsables de mantenimiento por parte de la aerolínea y de la empresa especialista. Sin embargo, para la evaluación y control del mantenimiento, se recomendó generar un sistema de información para llevar un historial de vida de los equipos, el cual debe incluir registros útiles y fiables de fallas y detenciones, mantenimientos correctivos y preventivos, costos de reparación e ineficiencia, entre otros. Para esto resulta fundamental que los documentos de captación de datos sean estándar y fáciles de entender por parte de los operadores y mantenedores.
- Finalmente en el paso 7, se recomendó realizar anualmente un análisis de costos globales para evaluar cuantitativamente la conveniencia de renovar los equipos o realizar cambios de diseño. Para esto, se puede tomar como referencia el análisis de costos globales realizado en el punto 6.11.

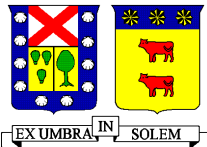
## 8. REFERENCIAS

- (1) Arata, A., (2009). *Ingeniería y Gestión de la Confiabilidad Operacional en Plantas Industriales: Aplicación de la Plataforma R-MES*. Chile: Santiago.
- (2) Contreras E., (2011). El CAPM y la estimación de tasas de descuento. *Revista Dinero*, Tutorial Septiembre 2011, pp.58-59, Chile: Santiago.
- (3) Decreto 238. Diario Oficial de la República de Chile, Santiago, Chile, 28 de abril de 1990.
- (4) Decreto 719. Diario Oficial de la República de Chile, Santiago, Chile, 8 de marzo de 1990.
- (5) Donges, J. (2012). *Competitividad internacional: el caso alemán*. Documentos a debate, IDOE-Instituto de Dirección y Organización de Empresas, Universidad de Alcalá, N°47/Febrero 2012. ISSN 1887-0295. DL M-43532-2006. España: Madrid.
- (6) IAEA, (2007). *Application of Reliability Centred Maintenance to Optimize Operation and Maintenance in Nuclear Power Plants*. IAEA-TECDOC-1590. Austria: Vienna.
- (7) Moubray, J., (2004). *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (Reliability-centred Maintenance)*. Argentina: Buenos Aires. España: Madrid.
- (8) Instituto Nacional de Normalización (Chile). Buenas prácticas en sistemas de refrigeración y climatización. NCH3241-2011 Santiago, Chile, 2011. 47 p.
- (9) Nowlan, F. y Heap H., (1978). *Reliability-Centered Maintenance*. United Airlines. EEUU: San Francisco.
- (10) Levet M. (2005). *Plan matriz de mantenimiento para unidad FF.CC. Teniente 8 basado en la metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad*. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil Industrial. Universidad Técnica Federico Santa María.
- (11) Ley N° 20.096. Diario Oficial de la República de Chile, Santiago, Chile, 23 de marzo de 2006.
- (12) PAS, B. (2008) PAS 55-1: 2008 *Gestión de Activos, Parte 1: Especificaciones para la gestión optimizada de activos físicos*. Lugano: Suiza.
- (13) PAS, B. (2008) PAS 55-2: 2008 *Asset Management, Part 2: Guidelines for the application of PAS 55-1*. Lugano: Suiza.





- (14) Pascual, R. (2009). *El Arte de Mantener, apuntes de cursos*. Pontificia Universidad Católica. Chile: Santiago.
- (15) Rojas, N. (2010). *Integración de Herramientas para el Aseguramiento de la Confiabilidad Operacional*. Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría. Cuba: La Habana.
- (16) Saavedra, S. (2014). *Teoría de confiabilidad para establecer mejoras en las políticas de mantenimiento en el equipo crítico de una flota de maquinaria pesada*. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil Industrial. Universidad Técnica Federico Santa María.
- (17) SAE-JA1011, N. O. R. M. A. S. (1999). SAE-JA1011. *Criterios de Evaluación para Procesos de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad*. EEUU.
- (18) SAE-JA1011, N. O. R. M. A. S. (2002). SAE-JA1012. *Guía para la Norma de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC)*. EEUU.
- (19) Schorr J. (2009). *Diseño de un plan de mantenimiento basado en confiabilidad en la empresa papelera Schorr y Concha S.A.* Memoria para optar al título de Ingeniero Civil Industrial. Universidad Técnica Federico Santa María.
- (20) Schwan, C. (1996). *Reliability Centered Maintenance (RCM) Technical Reference for Substations*. Electric Power Research Institute. EEUU: Maryland.
- (21) Viveros, P., Stegmaier, R., Kristjanpoller F., Barbera, L., Crespo A., (2013). Propuesta de un modelo de gestión de mantenimiento y sus principales herramientas de apoyo. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, vol. 21 N° 1, 2013, pp. 125-138. Chile: Arica.
- (22) Zampolli, M, (2012). *Guía básica para la implementación de la gestión de activos en empresas de energía*. Chile: Santiago.

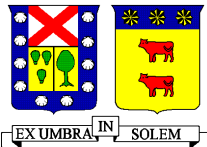


## 9. ANEXOS

### 9.1. Resultados de análisis RCM de equipos semi-críticos y no críticos

| HOJA DE RESULTADOS RCM  |  | SISTEMA:        | SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN SIMULADORES A 320-1 Y A320-2   |                |   |     |  |                  | FACILITADOR:   | JUAN PABLO RAFFO B. | FECHA:                  | 09-12-2015  | PÁGINA:   | 1 DE 7 |   |
|-------------------------|--|-----------------|--|----------------|---|-----|--|------------------|--|---------------------|-------------------------|---|---|--------|---|
|                         |  | SUB-SISTEMA:    | SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE AGUA CHILLER   |                |   |     |  |                  | AUDITOR:   |                     | FECHA:                  |   |   |        |   |
| SUB-SISTEMA /COMPONENTE | FUNCIÓN                                  | FALLA FUNCIONAL | MODO DE FALLA  | FREC. DE FALLA | EVIDENCIA DE FALLA                      | O/E | C. SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE                  | C. OPERACIONALES | C. NO OPERACIONALES  | CRITICIDAD          | TAREAS DE MANTENIMIENTO |   |   |        |   |
| 1                       | Sistema de refrigeración de agua Chiller | 1               | Suministrar agua fría a unidad manejadora de aire a una temperatura entre 8°C y 12°C   |                |   |     |  |                  |  |                     |                         |   |   |        |   |
| 1.1                     | Compresores                              | 1               | Comprimir refrigerante para completar circuito de refrigeración a una presión de 410 PSI en alta y 120 PSI en baja.                    | A              | No logra comprimir el gas refrigerante. | 1   | Bobina de compresor quemada.                   | 25%              | Alta temperatura en el agua (> 15°C); Se activa alarma del display del Chiller (Led rojo) diciendo Compresor Trip.   | E                   |                         | Manejadora enviara falla por alta temperatura en el agua, lo cual puede ocasionar la detención del simulador por temperatura. Poner en funcionamiento Chiller de back up (10 minutos una vez detectada la falla.) | Reparación: Sacar todo el refrigerante del Chiller, reemplazar compresor quemado , reemplazar filtros secadores del sistema de refrigeración, presurizar con nitrógeno, chequear que no existan filtraciones, sacar nitrógeno del sistema, hacer vacío con bomba de vacío (aproximadamente 9 horas o dejar la presión de vacío en -30 PSI).<br>Tiempos: Reparación con proveedor 12 hrs<br>Costos: Compresor Copeland Scroll modelo ZP137KCE-TFD-425: \$4.081.792; Carga Refrigerante R410A = \$72.000; Nitrógeno, Soldadura, Mano de obra = \$1.000.000; Costo Total = \$5.153.792 | C      | Realizar reapriete de conexiones de las bobinas y contactores de compresores (Trimestral); llevar registro de consumos eléctrico de compresores (Mensual); Llevar registro de presiones de alta y baja (Semestral). |
|                         |  |                 |  |                |   | 2   | Pérdida de rendimiento del compresor.          | 20%              | Consumos eléctricos fuera de rango, las presiones de alta y baja se igualan.   | E                   | -                       | Mismo que en 1.1 1A1.   | Mismo que en 1.1 1A1.   | C      | No cargar más ni menos refrigerante que el indicado, independiente de las condiciones ambientales.  |
| 1.2                     | Contactores de compresores               | 1               | Cerrar contactos para dar la partida al compresor al recibir la señal de 24 V de la tarjeta de control. Parámetro: 17-24 A; 353 -407 V | A              | No logra dar partida al compresor.      | 1   | Pérdida de señal de control.                   | 13%              | Equipo se detiene ; temperatura del agua aumenta sobre los 14°C; simulador comienza a activar alarma audible por alta temperatura .                              | E                   | -                       | Mismo efecto que en 1.1 1A1.  | Reparación: Chequear estado de bobina del contactor, chequear señal de control desde la Tarjeta de Control. En caso de que la tarjeta este dañada se debe reemplazar.<br>Tiempos: Conseguir repuesto: 5 a 9 hrs; reparación: 2 horas; total: 11 hrs<br>Costos: Contactor Compresor: \$213.886. Tarjeta de control: \$1.500.000  | C      | Chequear que el voltaje desde el transformador a la tarjeta de control sea entre 24-27 V (Mensual).   |
|                         |  |                 |  |                |   | 2   | Falta de reapriete de borneras.                | 20%              | Se activa alarma "Compresor Trip" ; si existen dos fases en la bornera el equipo se detendrá. Existe la posibilidad de encontrar contactor o compresor quemados. | E                   | -                       | Mismo efecto que en 1.1 1A1.  | Reparación: En caso de que no se quemó ningún dispositivo solo será necesario reapretar las borneras, si se quemó compresor o contactor habrá que reemplazarlos.<br>Tiempos: Conseguir repuesto 5hrs; reparación: 12 hrs, total: 17 hrs.<br>Costos: Compresor: \$3.430.078; Contactor: \$213.886  | SC     | Realizar reapriete de conexiones en todo el circuito eléctrico del Chiller: automáticos, contactores y borneras (Trimestral).   |
|                         |  |                 |  |                |   | 3   | Desgaste mecánico del contactor del compresor. | 20%              | Se activa alarma "Compresor Trip" contacto no enclava por problemas mecánicos.   | E                   | -                       | Mismo efecto que en 1.1 1A1.  | Reparación: Reemplazar contactor.<br>Tiempos: Conseguir repuesto: 5 hrs; reparación: 2 hrs; total: 7 hrs.<br>Costos: Contactor Compresor \$213.886.   | SC     | Chequear temperatura de contactor con cámara infrarroja, si es superior a 50°C el contactor estará defectuoso. (Anual).   |

Figura 44: Resultados de análisis RCM: Sistema de refrigeración de agua Chiller simulador B 787, página 1 de 7.



| HOJA DE RESULTADOS RCM  |                                  | SISTEMA:   | SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN SIMULADORES A 320-1 Y A320-2 |   |                    |  |                               |   | FACILITADOR:        | JUAN PABLO RAFFO B. | FECHA:  | 09-12-2015   | PÁGINA: | 2 DE 7   |
|-------------------------|----------------------------------|--|--|---|--------------------|--|-------------------------------|---|---------------------|---------------------|---|--|---------|--|
|                         |                                  | SUB-SISTEMA:   | SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE AGUA CHILLER               |   |                    |  |                               |   | AUDITOR:            |                     | FECHA:  |  |         |  |
| SUB-SISTEMA /COMPONENTE | FUNCIÓN                          | FALLA FUNCIONAL  | MODO DE FALLA  | FREC. DE FALLA                                      | EVIDENCIA DE FALLA | O/E  | C. SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE | C. OPERACIONALES  | C. NO OPERACIONALES | CRITICIDAD          | TAREAS DE MANTENIMIENTO   |  |         |  |
| 1.3                     | Contactor ventilador condensador | Cerrar contactos para dar la partida al ventilador condensador al recibir la señal de 24 V de la tarjeta de control. Parámetro: 2,7-3 A; 353-407 V.                            | A  | No logra dar partida al ventilador del Condensador. | 4                  | Contactor funcionando a dos fases.                         | 15%                           | Ruido mecánico en el compresor, lectura de corriente inexistente en una de las fases; falta de voltaje en una de las fases. | E                   | -                   | Mismo efecto que en 1.1 1A1, además compresor se puede quemar si no se detiene. | Reparación: Descartar si la falta de fase es interna, si es problema interno descartar que algún dispositivo este quemado (automático, contactor, compresor).<br>Tiempos: Conseguir repuestos: 9 hrs; reparación: 1 a 12 hrs (dependiendo de dispositivos dañados; total: 21 hrs.<br>Costos: Contactor Compresor: \$213.886. | SC      | Realizar reapriete de conexiones de todo el circuito del compresor: automático, contactor y borneras del compresor. (Trimestral).  |
|                         |                                  |  |  |   | 1                  | Falla de punto en Tarjeta Control                          | 13%                           | Se activa alarma por alta presión, provocando la detención del equipo.  | E                   | -                   | Mismo efecto que en 1.1 1A1.  | Reparación: Chequear estado de bobina del contactor, chequear señal de control desde el controlador.<br>Tiempos: Conseguir repuesto: 5 hrs; reparación: 13,75 hrs; total: 18,75 hrs.<br>Costos: Contactor Ventilador Condensado  | C       | Para acortar el tiempos de respuesta se recomienda implementar un sistema de control centralizado básico que permita prender, apagar y obtener lecturas de los equipos críticos de aire acondicionado.   |
|                         |                                  |  |  |   | 2                  | Motor de ventilador quemado.                               | 20%                           | Mismo efecto que en 1.3 1A1.  | E                   | -                   | Mismo efecto que en 1.1 1A1.  | Reparación: Chequear estado de bobinas de motor y reemplazar si están quemadas.<br>Tiempos: Conseguir repuesto: 5 hrs; reparación: 4 hrs; total: 9 hrs.<br>Costos: Embobinado de motor: \$350.000 a \$450.000  | SC      | Tomar consumos eléctricos del motor (Mensual); Chequear rodamientos y aspas del ventilador (Anual). Si se detecta variación en consumos eléctricos detener el Chiller, accionar Chiller de respaldo y chequear los implementos mecánicos y electrónicos. |
|                         |                                  |  |  |   | 3                  | Bobina de contactor quemada.                               | 20%                           | Mismo efecto que en 1.3 1A1.  | E                   | -                   | Mismo efecto que en 1.1 1A1.  | Reparación: Reemplazar contactor.<br>Tiempos: Conseguir repuesto: 5 hrs; reparación: 2 hrs; total: 7 hrs.<br>Costos: Contactor ventilador condensador: \$206.910.  | SC      | Mismas que 1.3 1A1.  |
|                         |                                  |  |  |   | 4                  | Desgaste mecánico del contactor de ventilador condensador. | 20%                           | Mismo efecto que en 1.3 1A1.  | E                   | -                   | Mismo efecto que en 1.1 1A1.  | Reparación: Reemplazar contactor.<br>Tiempos: Conseguir repuesto: 5 hrs; reparación: 2 hrs; total: 7 hrs.<br>Costos: Contactor ventilador condensador:   | SC      | Misma que en 1.2 1A3.  |
| 1.4                     | Contactor bomba de agua          | Dar la partida a la bomba de agua al recibir la señal de control de 24V, cierra los contactos ocupando parámetros de corriente entre 1,9 y 3 A y un voltaje entre 353 y 407 V. | A  | No logra poner en funcionamiento bomba de agua.     | 1                  | Falla en punto de Tarjeta Control.                         | 13%                           | Se activa alarma "Pump #1 fault". Ausencia de ruido de funcionamiento normal de bomba.                                      | E                   | -                   | Mismo efecto que en 1.1 1A1.  | Reparación: Chequear tarjeta de control y cambiar si amerita.<br>Tiempos: Conseguir repuesto: 5 o más horas; Reparación: 12 hrs; Total: 17 hrs.<br>Costos: Tarjeta de Control: \$ 1.500.000 aprox.   | C       | Mismas de modo de falla 1.1 1A1.   |
|                         |                                  |  |  |   | 2                  | Motor de bomba trabado por acumulación de óxido o sarro.   | 15%                           | Mismo efecto que en 1.4 1A1.  | E                   | -                   | Mismo efecto que en 1.1 1A1.  | Reparación: Chequear bobinas de motor, limpiar "Caracol centrífugo". Reemplazar bomba en caso de que se haya quemado el motor.<br>Tiempos: Conseguir repuesto: 5 hrs; reparación: 4 hrs; total: 9 hrs.<br>Costos: Embobinado de motor: \$ 350.000 a \$450.000  | NC      | Realizar purga del sistema (abrir válvula de despiche de aire de forma manual) (Mensual)   |

Figura 45: Resultados de análisis RCM: Sistema de refrigeración de agua Chiller simulador B 787, página 2 de 7.

| HOJA DE RESULTADOS RCM  |         | SISTEMA: SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN SIMULADORES A 320-1 Y A320-2 |  |                |  |     |  |                              | FACILITADOR:  | JUAN PABLO RAFFO B. | FECHA:  | 09-12-2015 | PÁGINA: | 3 DE 7 |
|-------------------------|---------|---|--|----------------|--|-----|--|------------------------------|---|---------------------|---|------------|---------|--------|
|                         |         | SUB-SISTEMA: SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE AGUA CHILLER           |  |                |  |     |  |                              | AUDITOR:  |                     | FECHA:  |            |         |        |
| SUB-SISTEMA /COMPONENTE | FUNCIÓN | FALLA FUNCIONAL   | MODO DE FALLA  | FREC. DE FALLA | EVIDENCIA DE FALLA   | O/E | C. SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE  | C. OPERACIONALES             | C. NO OPERACIONALES   | CRITICIDAD          | TAREAS DE MANTENIMIENTO   |            |         |        |
|                         |         |   | Motor de bomba trabado por 3 acoplamiento interno mal ajustado.  | 50%            | Se activa alarma "Pump #1 fault". Temp. del agua aumenta sobre 14°C. Se activa guarda motor o automático. El guarda motor o automático de la bomba puede estar también en falla con una frecuencia del 30% al año. | E   | Si se encuentra también en falla el guarda motor o automático de la bomba, el exceso de corriente puede generar incendio, o electrocución con resultado de muerte o lesiones graves para personas. | Mismo efecto que en 1.1 1A1. | Mismo efecto que en 1.4 1A2.  | C                   | Tomar consumos eléctricos del motor (Mensual); Chequear que rodamientos en bomba. No tengan juego, y caracol centrífugo no presente ruidos anormales en su funcionamiento, chequear óxido dentro de caracol. (Anual)  |            |         |        |
|                         |         |   | Motor de bomba 4 quemado por alta tensión exterior.  | 50%            | Mismo efecto que en modo de falla 1.4 1A3.   | E   | Mismo efecto que en modo de falla 1.4 1A3  | Mismo efecto que en 1.1 1A1. | Mismo efecto que en 1.4 1A2.  | C                   | Tomar consumos eléctricos del motor (Mensual)   |            |         |        |
|                         |         |   | Motor de bomba 5 quemado por trabajar en vacío (dado que alguna de las válvulas se encuentra cerrada). | 50%            | Mismo efecto que en modo de falla 1.4 1A3.   | E   | Mismo efecto que en modo de falla 1.4 1A3  | Mismo efecto que en 1.1 1A1. | Mismo efecto que en 1.4 1A2.  | C                   | Realizar purga del sistema (eliminar posibles burbujas de aire dentro de este) (Mensual). Chequear apertura de válvulas y llaves del sistema (Semanal).   |            |         |        |
|                         |         |   | Motor de bomba 6 quemado dado que el sistema se encuentra sin agua.                                    | 50%            | Mismo efecto que en modo de falla 1.4 1A3.   | E   | Mismo efecto que en modo de falla 1.4 1A3  | Mismo efecto que en 1.1 1A1. | Mismo efecto que en 1.4 1A2.  | C                   | Mismas que en 1.4 1A5.  |            |         |        |
|                         |         |   | Falta de fase en 7 tablero de control (fuerza) del Chiller.  | 33%            | Mismo efecto que en 1.4 1A3  | E   | Existe peligro de electrocución si revisa la presencia de fase sin implementos de seguridad.   | Mismo efecto que en 1.1 1A1. | <b>Reparación:</b> Buscar implemento donde se produce la ausencia de fase (automático, contactor, externo) y reparar, ya sea reapretando contactos o reemplazando elementos en falla.<br><b>Tiempos:</b> Conseguir repuesto 5 hrs, reparación: 4 hrs. | C                   | Tomar consumos eléctricos general del chiller Si se detecta variación en consumos recomienda detener el Chiller, accionar Chiller de respaldo y chequear los implementos mecánicos y electrónicos del Chiller en cuestión (Mensual).                            |            |         |        |
|                         |         |   | Falta de fase 8 externa al Chiller.  | 33%            | Mismo efecto que en 1.4 1A3.   | E   | Mismo efecto que en 1.4 1A7.   | Mismo efecto que en 1.1 1A1. | Mismo efecto que en 1.4 1A7.  | C                   | Tomar consumos eléctricos general del chiller Si se detecta variación en consumos o voltaje desde el exterior, se recomienda tomar contacto con personal CAE para determinar el porque existe variación de alimentación eléctrica desde el exterior. (Mensual). |            |         |        |

Figura 46: Resultados de análisis RCM: Sistema de refrigeración de agua Chiller simulador B 787, página 3 de 7.

| HOJA DE RESULTADOS RCM  |                                    | SISTEMA: SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN SIMULADORES A 320-1 Y A320-2   |  |                |   |     |   |                  | FACILITADOR:  | JUAN PABLO RAFFO B.          | FECHA:  | 09-12-2015                   | PÁGINA:   | 4 DE 7 |   |
|-------------------------|------------------------------------|---|--|----------------|---|-----|---|------------------|---|------------------------------|---|------------------------------|---|--------|---|
|                         |                                    | SUB-SISTEMA: SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE AGUA CHILLER   |  |                |   |     |   |                  | AUDITOR:  |                              | FECHA:  |                              |   |        |   |
| SUB-SISTEMA /COMPONENTE | FUNCIÓN                            | FALLA FUNCIONAL   | MODO DE FALLA  | FREC. DE FALLA | EVIDENCIA DE FALLA  | O/E | C. SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE   | C. OPERACIONALES | C. NO OPERACIONALES   | CRITICIDAD                   | TAREAS DE MANTENIMIENTO   |                              |   |        |   |
| 1.5                     | Tarjeta de control                 | 1<br>Procesar la información enviada por los dispositivos de control (entiéndase presostatos, flow switch, termómetros, manómetros, etc.) y accionar relés de control (24 V de salida). | A<br>No procesa la información enviada por los dispositivos de control.        | 1              | Fuga de gas refrigerante genera ausencia de señal de presostato de baja presión.    | 33% | Se activa alarma visual en display de control "led Rojo". Pueden verse manchas de aceite en cañerías del circuito de refrigeración. Se activa también presostato de baja presión, y compresor se detiene.                   | E                | Si hay fuga en el circuito de alta presión existe riesgo de quemaduras de alto grado por calor con poco tiempo de exposición. Si hay fuga en el circuito de baja presión, existe peligro de quemaduras de alto grado por frío por exposición prolongada. Los presostatos de alta y baja presión pueden fallar con una frecuencia del 30%. | Mismo efecto que en 1.1 1A1. | Reparación: Sacar todo el refrigerante del sistema a través de una bomba de vacío, presurizar el sistema con nitrógeno a 300 PSI aprox., identificar fuga, vaciar nitrógeno del sistema, reparar filtración (soldadura de plata y equipo de soldar que puede ser oxiacetilénica o gas y oxígeno), vaciar el sistema con bomba de vacío (-30 a -50 PSI de vacío), cargar refrigerante a la presión normal (alta: 400 PSI y baja a 130 PSI).<br><br>Tiempos: Conseguir repuestos: 9 hrs; Reparación: 4 hrs; Tiempo Total: 13 hrs.<br><br>Costos: \$1.000.000 (Con proveedor). | C                            | Tomar presiones (120 PSI baja, 410 PSI alta) (Semestral). Chequear funcionamiento de presostato de baja (debe cortar entre los 80-120 PSI (Semestral). Tomar corrientes del compresor (Mensual).  |        |   |
|                         |                                    |   |  | 2              | Fuga de aceite y gas refrigerante genera ausencia de señal de presostato de aceite. | 33% | Se activa alarma visual en display de control "led rojo". Aumento de ruido mecánico del compresor (sonido ronco). Pueden aparecer manchas de aceite. Presostato de aceite actúa, deteniendo compresor y generación de frío. | E                | Mismo efecto que en 1.5 1A1.  | Mismo efecto que en 1.1 1A1. | Mismo efecto que en 1.5 1A1.  | C                            | Chequear funcionamiento eléctrico de presostato de aceite (24V) (Mensual). Chequear presiones de trabajo (120 PSI baja, 410 PSI alta) (Semestral). Tomar corrientes del compresor (Mensual).  |        |   |
| 1.6                     | Presostatos de alta y baja presión | 1   | Detener compresor al existir presiones sobre los 410 PSI o bajo los 120 PSI.   | A              | Presostatos no accionan ante un alza o caída de presión.                            | 1   | Presostatos mal calibrados, en corte o desconectados.   | 33%              | Dependiendo de la falla podrían verse presostatos quemados o con un color amarillento en el cuerpo de este.   | E                            | Mismo efecto que en 1.5 1A1.  | Mismo efecto que en 1.1 1A1. | Reparación: Chequear funcionamiento y estado físico de presostatos.<br>Tiempos: Conseguir repuestos: 5 hrs; Reparación: 4 hrs; Tiempo Total: 9 hrs.<br>Costos: Presostato de Alta: \$62.273. Presostato de Baja: \$62.273   | C      | Chequear funcionamiento eléctrico de presostatos (24V) (Mensual). Chequear presiones de trabajo (120 PSI baja, 410 PSI alta) (Semestral). Tomar corrientes del compresor (Mensual). |
| 1.7                     | Presostato de Aceite               | 1   | Detener funcionamiento del compresor al detectarse una baja presión de aceite. | A              | Presostato de aceite no acciona.  | 1   | Presostatos mal calibrados, en corte o desconectados.   | 25%              | Se genera ruido anormal en el funcionamiento del compresor. Aumenta la temperatura y consumo eléctrico en el trabajo del compresor.   | E                            | Mismo efecto que en 1.5 1A1.  | Mismo efecto que en 1.1 1A1. | Reparación: Chequear nivel y presión de aceite y luego chequear funcionamiento de presostatos. Reemplazar presostatos defectuosos.<br>Tiempos: Conseguir repuestos (en caso de necesitarse reemplazo): 5 hrs; Reparación: 4 hrs; Tiempo Total: 9 hrs.<br>Costos: Presostato de Aceite \$316.716 | C      | Mismas que en 1.5 1A2.  |

Figura 47: Resultados de análisis RCM: Sistema de refrigeración de agua Chiller simulador B 787, página 4 de 7.

| HOJA DE RESULTADOS RCM  |                               | SISTEMA:  | SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN SIMULADORES A 320-1 Y A320-2             |   |                    |   |                               |                  | FACILITADOR:  | JUAN PABLO RAFFO B. | FECHA:  | 09-12-2015 | PÁGINA:                | 5 DE 7 |
|-------------------------|-------------------------------|---|--|---|--------------------|---|-------------------------------|------------------|---|---------------------|---|------------|------------------------|--------|
|                         |                               | SUB-SISTEMA:  | SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE AGUA CHILLER                           |   |                    |   |                               |                  | AUDITOR:  |                     | FECHA:  |            |                        |        |
| SUB-SISTEMA /COMPONENTE | FUNCIÓN                       | FALLA FUNCIONAL   | MODO DE FALLA  | FREC. DE FALLA  | EVIDENCIA DE FALLA | O/E   | C. SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE | C. OPERACIONALES | C. NO OPERACIONALES   | CRITICIDAD          | TAREAS DE MANTENIMIENTO   |            |                        |        |
| 1.8                     | Flow Switch                   | 1<br>Enviar señal a tarjeta de control tras detectar flujo de agua en el sistema.   | A<br>No hay señal de flujo de agua en el sistema.                  | 1<br>No hay circulación de agua.                              | 25%                | Se activa alarma visual "led rojo en display de control", se detiene compresor por protección.  | E                             | -                | Mismo efecto que en 1.1 1A1.  | SC                  | Chequear accionamiento mecánico del Flow Switch (Trimestral).<br>Chequear sensibilidad de Flow Switch mediante perno de ajuste (Trimestral).                                      |            |                        |        |
|                         |                               |   |  | 2<br>Flow Switch pegado o aleta de Flow Switch en mal estado. | 30%                | Mismo efecto que en 1.8 1A1.  | E                             | -                | Mismo efecto que en 1.1 1A1.  |                     |   | SC         | Mismas que en 1.8 1A1. |        |
| 1.9                     | Manómetros                    | 1<br>Medir presión de agua en el sistema.   | A<br>Manómetro no marca la presión o tiene lecturas erróneas.      | 1<br>Manómetro descalibrado.                                  | 15%                | Reloj del manómetro lee presiones erróneas.   | E                             | -                | No afecta el funcionamiento del simulador al ser un implemento análogo, y no conectado al sistema de control.   | NC                  | Llevar registro de lecturas. Recomendación: comparar lecturas con manómetros de los otros equipos Chiller (Mensual).  |            |                        |        |
| 1.10                    | Termómetros digital y análogo | 1<br>Medir la temperatura del agua en la entrada y en la salida del equipo Chiller. | A<br>Lectura errónea de los termómetros o sensores de temperatura. | 1<br>Termómetro descalibrado.                                 | 10%                | Para el termómetro digital se activa alarma visual "led rojo en display de control", Puede detener la generación frío dependiendo del error en el tipo de lectura. En el caso de que falle el termómetro análogo se observarán lecturas erróneas. | E                             | -                | Si falla el termómetro digital se puede detener el simulador por alta temperatura (si la lectura errónea es por debajo de la temperatura de seteo). En ese caso existe equipo Chiller de Back Up, el cual se puede activar en 10 minutos luego de detectarse la falla. Si falla el termómetro análogo, el simulador no se detendrá ya que este dispositivo no se encuentra conectado al sistema de control. | SC                  | Llevar registro de lecturas de termómetro digital y análogo (Mensual). Recomendación: comparar lecturas entre termómetros análogos y digitales de los diferentes equipos Chiller. |            |                        |        |

Figura 48: Resultados de análisis RCM: Sistema de refrigeración de agua Chiller simulador B 787, página 5 de 7.

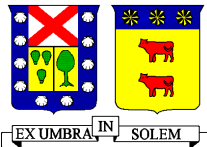
| HOJA DE RESULTADOS RCM   |   | SISTEMA: SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN SIMULADORES A 320-1 Y A320-2  |  |                |  |     |                               |  | FACILITADOR:   | JUAN PABLO RAFFO B. | FECHA:   | 09-12-2015 | PÁGINA: | 6 DE 7 |
|--|---|--|--|----------------|--|-----|-------------------------------|--|--|---------------------|--|------------|---------|--------|
|  |   | SUB-SISTEMA: SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE AGUA CHILLER  |  |                |  |     |                               |  | AUDITOR:   |                     | FECHA:   |            |         |        |
| SUB-SISTEMA /COMPONENTE  | FUNCIÓN   | FALLA FUNCIONAL  | MODO DE FALLA  | FREC. DE FALLA | EVIDENCIA DE FALLA   | O/E | C. SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE | C. OPERACIONALES   | C. NO OPERACIONALES  | CRITICIDAD          | TAREAS DE MANTENIMIENTO  |            |         |        |
| 1.11 Ventilador: ZIEHL-ABEGG   | Generar flujo de aire por el serpentín para disminuir temperatura del gas refrigerante. Voltaje de trabajo normal: 380-415 V. Consumo del motor por línea: 2-4 A. | No logra generar flujo de aire hacia el serpentín.   | 1 Falta de energía de fuerza en contactor de ventilador. | 35%            | Se activa alarma visual "Led Rojo" en unidad de control del chiller. Se detiene completamente la generación de frío por alta presión. Se acciona alarma audible del simulador. | E   | -                             | Se detiene el simulador por falta de flujo de aire (detención inmediata). Existe equipo Chiller de back up, el cual se puede activar en 10 minutos una vez detectada la falla. | <b>Reparación:</b> Chequear dispositivos de alimentación eléctrica, reemplazar dispositivos dañados.<br><b>Tiempos:</b> Conseguir repuestos 9 hrs dependiendo de respuesta del proveedor. Reparación: 2 hrs. Total: 11 hrs aprox.<br><b>Costos:</b> Contactor ABB Bobina 24 V: \$246.223.  | SC                  | Tomar consumos eléctricos del motor del ventilador condensador (Mensual). Si se detecta variación en consumos eléctricos se recomienda detener el Chiller, accionar Chiller de back up y chequear los implementos mecánicos y electrónicos del Chiller en falla. |            |         |        |
|  |   |  | 2 Falta de energía de control en bobina del contactor.   | 35%            | Mismo que en 1.11 1A1.   | E   | -                             | Mismo que en 1.11 1A1.   | <b>Reparación:</b> Chequear voltaje de salida desde la tarjeta de control (1PCB), chequear voltaje primario y secundario del transformador ("Isme", pri 220v sec 24v), reemplazar dispositivos dañados.<br><b>Tiempos:</b> Conseguir repuestos: 5 hrs; reparación: 3 hrs; total: 8 hrs.<br><b>Costos:</b> Transformador: \$27.150                      | SC                  | Chequear corriente de control (Mensual). Si se detecta ausencia de señal en bobina del contactor, accionar Chiller de back up y chequear los implementos mecánicos y electrónicos del Chiller en falla.  |            |         |        |
|  |   |  | 3 Aspas sueltas, fuera de su lugar o rotas               | 15%            | Mismo que en 1.11 1A1.   | E   | -                             | Mismo que en 1.11 1A1.   | <b>Reparación:</b> Chequear los pernos de apriete del aspa al eje del motor, si el aspa se encuentra deteriorada o rota proceder a su reemplazo.<br><b>Tiempos:</b> Conseguir repuesto: 5 hrs. Reparación: 3 hrs. Total: 8 hrs.<br><b>Costos:</b> Motor con aspas: \$1.944.951   | C                   | Chequear partes móviles y mecánicas del ventilador (Trimestral). Si aspas tienen juego, poner en funcionamiento Chiller de back up y reemplazar ventilador.  |            |         |        |
| 1.12 Serpentín: CHILLER CARRIER 30RB-033CH                           | Permitir la circulación de refrigerante para generar transferencia de calor entre refrigerante y aire exterior.   | Baja o nula transferencia de calor entre el aire y el refrigerante.  | 1 Serpentín sucio.                                       | 35%            | Se activa alarma visual, Led Rojo en unidad de control del chiller. Se detiene compresor por alta presión.   | E   | -                             | Mismo que en 1.1 1A1.  | <b>Reparación:</b> Chequear las incrustaciones que se puedan generar por suciedad, lavar el serpentín con líquido desincrustante y agua a alta presión, chequear presiones de trabajo y temperatura del condensador.<br><b>Tiempos:</b> Conseguir repuesto: 5 hrs; reparación: 6 hrs; total: 11 hrs.<br><b>Costos:</b> Desincrustante \$ 12.000 Aprox. | SC                  | Realizar lavado químico con limpiador alcalino para serpentines exteriores marca Magnific o Triple "D". (Trimestral).  |            |         |        |
| 1.13 Resistencia cárter: Compresor Copeland Scroll, ZP137KCE-TFD-425 | Separar el refrigerante del aceite, manteniendo el aceite a una temperatura más alta.   | Resistencia Carter no logra elevar la temperatura del aceite por sobre la del refrigerante.                                    | 1 Resistencia de Cárter dañada.                          | 10%            | Se activa alarma visual del panel de control, se detiene el compresor, evitando así el fenómeno "Golpe de líquido".  | E   | -                             | Mismo que en 1.1 1A1.  | <b>Reparación:</b> Chequear dispositivos eléctricos involucrados en energizar el calefactor del cárter. Chequear estado de calefactor del cárter y reemplazar si se encuentra dañado.<br><b>Tiempos:</b> Conseguir repuesto: 4 hrs; reparación: 1,5 hrs; total: 5,5 hrs.<br><b>Costos:</b> Resistencia Cárter: \$537.650                               | SC                  | Chequear conexiones (Trimestral). Chequear consumo eléctrico del cárter y comprobar su activación (Mensual).   |            |         |        |
| 1.14 Separador de líquido.   | Evitar que el gas refrigerante retorne a su fase líquida y que el aceite llegue en gran cantidad a la succión del compresor.                                      | No Evita que el gas refrigerante retorne a su fase líquida y que el aceite llegue en gran cantidad a la succión del compresor. | 1 Rotura interna de válvula de expansión.                | 15%            | Aumento de la temperatura del agua. Si la válvula tiene una diferencia de presiones por alta o baja debiesen de activar los presostatos.                                       | E   | -                             | Mismo que en 1.1 1A1.  | <b>Reparación:</b> Al fallar este dispositivo se debe hacer recambio, lo que implica hacer el proceso de vacío y recarga del sistema.<br><b>Tiempos:</b> Conseguir repuesto: 5 hrs Reparación: 9 hrs Total: 14 hrs.<br><b>Costos:</b> Válvula de Servicio: \$192.116   | SC                  | Llevar registro de consumos eléctricos (Mensual), llevar registro presiones de trabajo (Semestral).  |            |         |        |

Figura 49: Resultados de análisis RCM: Sistema de refrigeración de agua Chiller simulador B 787, página 6 de 7.

| HOJA DE RESULTADOS RCM  |  | SISTEMA: SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN SIMULADORES A 320-1 Y A320-2   |   |  |                    |  |                               |                  | FACILITADOR:   | JUAN PABLO RAFFO B. | FECHA:  | 09-12-2015 | PÁGINA: | 7 DE 7 |
|-------------------------|--|---|---|--|--------------------|--|-------------------------------|------------------|--|---------------------|---|------------|---------|--------|
|                         |  | SUB-SISTEMA: SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE AGUA CHILLER   |   |  |                    |  |                               |                  | AUDITOR:   |                     | FECHA:  |            |         |        |
| SUB-SISTEMA /COMPONENTE | FUNCIÓN                                    | FALLA FUNCIONAL   | MODO DE FALLA   | FREC. DE FALLA   | EVIDENCIA DE FALLA | O/E  | C. SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE | C. OPERACIONALES | C. NO OPERACIONALES  | CRITICIDAD          | TAREAS DE MANTENIMIENTO   |            |         |        |
| 1.15                    | Válvula de servicio y succión de descarga. | 1<br>Controlar el flujo de refrigerante que pasa hacia el evaporador.   | A<br>No logra controlar el flujo de refrigerante hacia el evaporador. | 1<br>Rotura interna de válvula o con restos de escoria | 20%                | No se activa falla en modulo de control.   | O                             | -                | No se detiene el simulador, pero la temperatura del agua hacia la una aumentara o disminuirá dependiendo del funcionamiento de la válvula.<br><br><b>Reparación:</b> Chequear regulación de la válvula teniendo presente las presiones y temperaturas de trabajo de esta, además de las presiones y temperaturas de trabajo del evaporador. Si después de la regulación sigue el mal funcionamiento, se debe chequear todo el circuito de refrigeración y sus componentes.<br><b>Tiempos:</b> Conseguir repuesto: 5 hrs; reparación: 9 hrs; total: 14 hrs.<br><b>Costos:</b> Válvula de servicio \$192.116 | NC                  | Mismas que en 1.14 1A1.   |            |         |        |
| 1.16                    | Estanque de expansión.                     | 1<br>Absorber la presión del agua en exceso producto de la expansión térmica a una presión de trabajo de 5 Bar. | A<br>No logra absorber la presión del agua en exceso.                 | 1<br>Membrana rota o con poco aire.                    | 10%                | Bomba en funcionamiento constante. Manómetro de presión no llega a la presión normal de trabajo. | E                             | -                | No se detiene el simulador ya que no tiene efecto directo en el funcionamiento del sistema de enfriamiento del agua. Bomba de agua trabajará de forma continua.<br><br><b>Reparación:</b> Chequear funcionamiento y presión en bolsa de aire interna del estanque, al faltarle aire proceder a inflar este con el Chiller apagado.<br><b>Tiempos:</b> Conseguir repuesto: 5 hrs; reparación: 5 hrs; total: 10 hrs.<br><b>Costos:</b> Estanque de Expansión Anwo: \$ 40.000.  | NC                  | Llevar registro de presión de trabajo de la bomba y del estanque de expansión (5 Bar) (Mensual). Llevar registro del consumo eléctrico de la bomba de agua (Mensual). |            |         |        |

Figura 50: Resultados de análisis RCM: Sistema de refrigeración de agua Chiller simulador B 787, página 7 de 7.





| HOJA DE RESULTADOS RCM                                |   | SISTEMA: SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN SIMULADORES A 320-1 Y A320-2 |               |   |                    |   |                               |                  | FACILITADOR:   | JUAN PABLO RAFFO B.  | FECHA:                  | 09-12-2015   | PÁGINA: | 1 DE 3 |
|---|---|---|---------------|---|--------------------|---|-------------------------------|------------------|--|--|-------------------------|--|---------|--------|
|   |   | SUB-SISTEMA: TORRES DE ENFRIAMIENTO A320-1 Y A320-2             |               |   |                    |   |                               |                  | AUDITOR:   |  | FECHA:                  |  |         |        |
| SUB-SISTEMA /COMPONENTE                               | FUNCIÓN   | FALLA FUNCIONAL   | MODO DE FALLA | FREC. DE FALLA                                      | EVIDENCIA DE FALLA | O/E   | C. SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE | C. OPERACIONALES | C. NO OPERACIONALES  | CRITICIDAD   | TAREAS DE MANTENIMIENTO |  |         |        |
| 1. Torres de enfriamiento simuladores A320-1 y A320-2 | Mantener la temperatura del agua de unidades HPU de A320 1 y A320 2 bajo los 50°C.  |   |               |   |                    |   |                               |                  |  |  |                         |  |         |        |
| 1.1 Contactores                                       | Cerrar contactos para permitir el paso de corriente en ventiladores de corta gota y bombas de agua. Parámetros corta gotas: 1-2 A, 380-405 V. Parámetros bomba de agua: 13,5 - 14,5 A, 380-405 V. | A<br>Uno o más contactor(es) no cierran (no accionan).          | 1             | Falta energía de control en bobina de un contactor. | 50%                | El dispositivo afectado ya sea ventilador de corta gota y/o bombas de agua, no arrancará.                                     | E                             | -                | Si falla un contactor de los ventiladores de las corta gotas, se elevará la temperatura del agua por sobre los 50°C, deteniéndose el HPU y luego el simulador. Si falla un contactor de una bomba de agua, se detendrá la circulación de agua por el HPU, ocasionando la detención del HPU y luego del simulador. Sin embargo se cuenta con una bomba de respaldo. | Reparación: Revisar fusibles y voltaje de control (220V), si la bobina del contactor esta quemada se debe reemplazar contactor.<br><br>Tiempos: Conseguir repuestos: 5 hrs; Reparación: 2 hrs; Tiempo Total: 7 hrs.<br><br>Costos: Contactor telemechanique LC1D18: \$130.929  | C                       | Chequear consumos eléctricos en ventilador de corta gota y bomba de agua (Mensual). Cambiar corta gota (challa) (Anual).                         |         |        |
|   |   |   | 2             | Ausencia de una de las fases                        | 33%                | La torre de enfriamiento se detendrá ya que el automático general de la instalación caerá por la ausencia de una o más fases. | E                             | -                | Mismo efecto que en 1.1 1A1  | Reparación: Chequear la presencia de voltaje por líneas, si existe voltaje en las tres líneas (desde el automático general a la torre), chequear el apriete de conexiones desde el automático hasta el contactor afectado. Si no existe presencia de voltaje desde automático general al equipo, chequear tableros de alimentación general (en este caso el problema pasa a manos de la compañía eléctrica).<br><br>Tiempos: Conseguir repuestos: 4 hrs; Reparación: 2 hrs; Tiempo Total: 6 hrs.<br><br>Costos: Automático trifásico de 16 amperes: \$39.000 | C                       | Realizar reapriete de conexiones de todo el circuito del ventilador de la torre (automático, contactor y borneras del ventilador) ( Trimestral). |         |        |

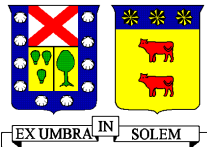
Figura 51: Resultados de análisis RCM: Torres de enfriamiento de simuladores A320-1 y A320-2, página 1 de 3.

| HOJA DE RESULTADOS RCM               |  | SISTEMA: SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN SIMULADORES A 320-1 Y A320-2 |   |                |   |     |                               |   | FACILITADOR:   | JUAN PABLO RAFFO B. | FECHA:  | 09-12-2015 | PÁGINA: | 2 DE 3 |
|--------------------------------------|--|---|---|----------------|---|-----|-------------------------------|---|--|---------------------|---|------------|---------|--------|
|                                      |  | SUB-SISTEMA: TORRES DE ENFRIAMIENTO A320-1 Y A320-2             |   |                |   |     |                               |   | AUDITOR:   |                     | FECHA:  |            |         |        |
| SUB-SISTEMA / COMPONENTE             | FUNCIÓN  | FALLA FUNCIONAL   | MODO DE FALLA   | FREC. DE FALLA | EVIDENCIA DE FALLA  | O/E | C. SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE | C. OPERACIONALES  | C. NO OPERACIONALES  | CRITICIDAD          | TAREAS DE MANTENIMIENTO   |            |         |        |
| 1.1. Contactores                     | 1<br>Cerrar contactos para permitir el paso de corriente en ventiladores de corta gota y bombas de agua. Parámetros corta gotas: 1-2 A, 380-405 V. Parámetros bomba de agua: 13,5 - 14,5 A, 380-405 V. | A<br>Uno o más contactor(es) no cierran (no accionan).          | 3<br>Caída del automático del equipo por ausencia de 380 V, exceso de corriente o aumento de temperatura. | 50%            | El ventilador de la torre y la bomba de agua se detendrán al no existir voltaje trifásico.  | E   | -                             | Mismo efecto que en 1.1 1A1   | <p><b>Reparación:</b> Subir automático y chequear si vuelve a accionar, buscar que esta accionando el corte. Chequear bobinas de los motores (aislación). medir la temperatura de activación del automático con cámara termográfica o algún otro dispositivo.</p> <p><b>Tiempos:</b> Conseguir repuestos: 4 hrs. Reparación: 2 hrs. Tiempo Total: 6 hrs.</p> <p><b>Costos:</b> Automático trifásico de 16 amperes: \$39.000. Contactor telemechanique LC1D18: \$130.929. Reparación bobinado de motores desde \$200.000 a \$300.000.</p> | C                   | Tomar consumo eléctrico (mensual). Realizar reapriete de conexiones eléctricas (Trimestral)                                       |            |         |        |
| 1.2 Filtros de agua                  | 1<br>Limpiar/Filtrar el agua que ingresa al HPU, reteniendo cualquier partícula o piedrecilla que pueda afectar el sistema.  | A<br>No logra limpiar/filtrar el agua que ingresa al HPU.       | 1 Filtro Sucio  | 50%            | Se observarán residuos de sales minerales en las cañerías del HPU, dependiendo de la saturación del filtro, disminuirá el caudal de agua que ingresa al HPU provocando el alza paulatina de la temperatura del agua, llegando a ocasionar defectos en la bomba de agua. | E   | -                             | No ocasiona la detención del simulador, mientras la obstrucción no sea del 45%.   | <p><b>Reparación:</b> Lavar o cambiar filtros de Agua.</p> <p><b>Tiempos:</b> Conseguir repuestos: 5 hrs. Reparación: 2 hrs. Tiempo Total: 7 hrs.</p> <p><b>Costos:</b> Filtro de agua: \$65.000 (1 filtro por circuito, 2 circuitos en total)</p>   | SC                  | Lavar filtro con líquido desengrasante y escobilla plástica y retirar incrustaciones de la carcasa del porta filtro. (Trimestral) |            |         |        |
| 1.3 Ventilador torre de enfriamiento | 1<br>Mover el aire a través de la corta gota para lograr bajar la temperatura del agua que entra al HPU. Parámetros: 1- 2 A; 380-405 V.  | A<br>No logra mover el aire a través de las corta gotas.        | 1<br>Contactor en falla por falta energía de control en bobina de contactor.                              | 50%            | Ver punto 1.1 Contactores   | E   | -                             | Ver punto 1.1 Contactores   | Ver punto 1.1 Contactores  | -                   | Ver punto 1.1 Contactores   |            |         |        |
|                                      |  |   | 2<br>Motor de ventilador en falla   | 25%            | Se activará el automático de la unidad.   | E   | -                             | Aumenta la temperatura de suministro hacia el HPU, llegando a alcanzar una temperatura de 50°C, ocasionando la detención del simulador. | <p><b>Reparación:</b> Chequear bobinas del motor, en caso de corte proceder a cambiar o reparar motor.</p> <p><b>Tiempos:</b> Conseguir repuestos: 9 hrs; Reparación: 9hrs; Tiempo Total: 18 hrs.</p> <p><b>Costos:</b> Bobinado: \$200.000 a \$300.000.</p>   | C                   | Reapriete de conexiones en bornera de motor del ventilador (Trimestral). Medir consumo eléctrico (Mensual).                       |            |         |        |

Figura 52: Resultados de análisis RCM: Torres de enfriamiento de simuladores A320-1 y A320-2, página 2 de 3.

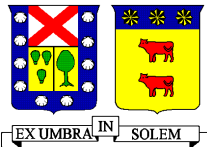
| HOJA DE RESULTADOS RCM        |   | SISTEMA:  | SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN SIMULADORES A 320-1 Y A320-2                          |                |  |     |                               |  | FACILITADOR:  | JUAN PABLO RAFFO B. | FECHA:   | 09-12-2015 | PÁGINA: | 3 DE 3 |
|-------------------------------|---|---|---|----------------|--|-----|-------------------------------|--|---|---------------------|--|------------|---------|--------|
|                               |   | SUB-SISTEMA:  | TORRES DE ENFRIAMIENTO A320-1 Y A320-2  |                |  |     |                               |  | AUDITOR:  |                     | FECHA:   |            |         |        |
| SUB-SISTEMA /COMPONENTE       | FUNCIÓN   | FALLA FUNCIONAL   | MODO DE FALLA   | FREC. DE FALLA | EVIDENCIA DE FALLA   | O/E | C. SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE | C. OPERACIONALES   | C. NO OPERACIONALES   | CRITICIDAD          | TAREAS DE MANTENIMIENTO  |            |         |        |
| 1.4 Bombas de agua            | 1 Hacer circular el agua entre la torre de enfriamiento y el HPU a una presión de 5 Bar ; corriente: 13,5 a 14,5 A. /380 a 405V | A No logra hacer circular el agua.                                      | 1 Contactor en falla por falta energía de control en bobina de contactor (220V) | 50%            | Ver punto 1.1 Contactores  | E   | -                             | Ver punto 1.1 Contactores  | Ver punto 1.1 Contactores   | C                   | Ver punto 1.1 Contactores  |            |         |        |
|                               |   |   | 2 Motor de la bomba en falla  | 25%            | En la torre de enfriamiento funcionará el ventilador pero no circulara agua a través de ella. Se activará el automático de la unidad.                  | E   | -                             | Aumenta la temperatura del agua del HPU por sobre los 50°C, simulador se detiene. Se debe poner en funcionamiento bomba de respaldo.                   | <b>Reparación:</b> Chequear bobinas del motor, en caso de corte proceder a cambiar o reparar motor.<br><b>Tiempos:</b> Conseguir repuestos: 9 hrs; Reparación: 9 hrs; Tiempo Total: 18 hrs.<br><b>Costos:</b> Bobinado: \$600.000. Motor bomba nuevo: \$700.000   | C                   | Realizar reapriete de contactos en borneras del motor de la bomba (Trimestral), Llevar registro de consumo eléctrico (Mensual).  |            |         |        |
| 1.5 Cañerías y llaves de agua | 1 Permitir la libre circulación del agua a través del sistema y aislar el circuito para realizar mantención o reparación.       | A No permite la libre circulación del agua o la aislación del circuito. | 1 Llaves de agua cerradas   | 20%            | Aumento de temperatura del agua del HPU por sobre los 50 °C. Activación de alarma audible del simulador por alta temperatura en el agua de unidad HPU. | E   | -                             | Mismo efecto que en 1.4 1A2., sumado a que la bomba de agua puede sufrir rotura de su sello mecánico y, en el peor de los casos, la quema de la bomba. | <b>Reparación:</b> Chequear posibles filtraciones en el tendido de cañerías (cañerías de PVC). Chequear posición de válvulas y llaves de agua. Cambiar y/o reparar cañerías o llaves deterioradas. Sacar aire del sistema y cebar bomba de ser necesario.<br><b>Tiempos:</b> Conseguir repuestos: 5 hrs. Reparación: 5 hrs. Tiempo Total: 10 hrs.<br><b>Reparación 2:</b> En el caso de que exista filtración en el sello mecánico, este deberá repararse con proveedor ( tiempos: 72 horas; costo: \$450.000). | C                   | Chequear funcionamiento de llaves y chequear filtraciones en uniones de cañerías (Mensual)   |            |         |        |
|                               |   |   | 2 Deterioro de cañerías y llaves.   | 30%            | Mismo efecto que en 1.5 1A1.   | E   | -                             | Mismo efecto que en 1.4 1A2.   | <b>Reparación:</b> Chequear posibles filtraciones en el tendido de cañerías (Cañerías de PVC). Chequear posición de válvulas y llaves de agua. Cambiar y/o reparar cañerías o llaves deterioradas. Sacar aire del sistema y cebar bomba de ser necesario.<br><b>Tiempos:</b> Conseguir repuestos: 5 hrs. Reparación: 5 hrs. Tiempo Total: 10 hrs.<br><b>Costos:</b> \$0.  | C                   | Realizar inspección visual para detectar fuga de agua en cañerías o llaves (Mensual). Se recomienda cambiar cañerías de PVC por cañerías de hierro negro o cobre, puesto que las cañerías se encuentran expuestas al sol y sufren deterioro. |            |         |        |

Figura 53: Resultados de análisis RCM: Torres de enfriamiento de simuladores A320-1 y A320-2, página 3 de 3.



| HOJA DE RESULTADOS RCM                                |  | SISTEMA:                     | SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN SIMULADORES A 320-1 Y A320-2         |   |                    |  |                               |                  | FACILITADOR:  | JUAN PABLO RAFFO B.  | FECHA:                  | 09-12-2015   | PÁGINA: | 1 DE 4 |
|---|--|------------------------------|--|---|--------------------|--|-------------------------------|------------------|---|--|-------------------------|--|---------|--------|
|   |  | SUB-SISTEMA:                 | EQUIPO DE PRECISIÓN STULZ PARA SERVIDORES DE SIMULADOR A 320-1 |   |                    |  |                               |                  | AUDITOR:  |  | FECHA:                  |  |         |        |
| SUB-SISTEMA /COMPONENTE                               | FUNCIÓN  | FALLA FUNCIONAL              | MODO DE FALLA  | FREC. DE FALLA  | EVIDENCIA DE FALLA | O/E  | C. SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE | C. OPERACIONALES | C. NO OPERACIONALES   | CRITICIDAD   | TAREAS DE MANTENIMIENTO |  |         |        |
| 1<br>Equipo de precisión Stulz para servidores A320 1 | 1<br>Inyectar aire a 17°C y 14.000 m3/h en racks de servidores de simulador A3201. | A<br>No inyecta nada de aire | 1  | Cortocircuito en bobinas de contactor del ventilador de impulsión.          | 15%                | Se apagará uno de los módulos del equipo. Se activará un led rojo en display del equipo y una alarma sonora. | E                             | -                | El equipo puede funcionar con un solo módulo por aproximadamente 3 horas, luego de eso, existe el riesgo de que se pierdan los datos del curso impartido. | Reparación: Cambiar contactor de ventilador de impulsión.<br>Tiempos: 7 horas<br>Costos: Contactor Vent. Impulsión: \$202.141  | NC                      | Medir y registrar corriente y voltaje en bobina de contactor de ventilador de impulsión (Mensual). Si ocurre la falla se recomienda bajar la temperatura de inyección al mínimo.   |         |        |
|   |  |                              | 2  | Cortocircuito en bobinas de motor del ventilador de impulsión.              | 15%                | Mismas que en 11A1.  | E                             | -                | Mismas que en 11A1.   | Reparación: Embobinar motor de ventilador de impulsión.<br>Tiempos: 7 horas<br>Costos: Embobinado de motor: \$ 600.000   | SC                      | Medir y registrar corriente y voltaje en bobina de motor de ventilador de impulsión (Mensual). Realizar reapriete de conexiones eléctricas (Trimestral). Si ocurre la falla se recomienda bajar la temperatura de inyección al mínimo. |         |        |
|   |  |                              | 3  | Ausencia de señal de control (24V) en contactor de ventilador de impulsión. | 30%                | Mismas que en 11A1.  | E                             | -                | Mismas que en 11A1.   | Reparación: Chequear fusibles de control, chequear punto de tarjeta de control del ventilador de impulsión. Reemplazar implementos defectuosos.<br>Tiempos: 6 horas<br>Costos: Tarjeta de control: \$ 3.000.000  | C                       | Chequear señal de control 24 V en: contactor de ventilador de impulsión, entrada de tarjeta de control y salida de tarjeta de control (Mensual). Chequear estado de fusibles de control (Mensual).                                     |         |        |
|   |  |                              | 4  | Fusible de control del ventilador de impulsión quemado.                     | 30%                | Mismas que en 11A1.  | E                             | -                | Mismas que en 11A1.   | Reparación: Reemplazar fusible.<br>Tiempos: 3 horas<br>Costos: \$ 3.000  | NC                      | Chequear estado de fusibles de control (Mensual). Contar con un stock de fusibles de forma permanente.   |         |        |
|   |  |                              | 5  | Flow switch descalibrado  | 10%                | Mismas que en 11A1.  | E                             | -                | Mismas que en 11A1.   | Reparación: Realizar limpieza de flow switch, revisar que los contactos no estén cortocircuitado o haciendo tierra y chequear sensibilidad del flow switch. Cambiar de ser necesario.<br>Tiempos: 2 horas (sin cambio) , 6 horas (con cambio)<br>Costos: Flow switch: \$ 150.000 | NC                      | Realizar limpieza de flow switch (Trimestral), reapriete de terminales de flow switch (Trimestral). Aplicar limpia contactos en flow switch (Trimestral)   |         |        |
|   |  |                              | 6  | Flow switch sucio   | 10%                | Mismas que en 11A1.  | E                             | -                | Mismas que en 11A1.   | Reparación: Realizar limpieza de flow switch.<br>Tiempos: 2 horas (sin cambio).<br>Costos: \$0   | NC                      | Mismas que en 11A5.  |         |        |

Figura 54: Resultados de análisis RCM: Equipo de precisión Stulz para servidores de simulador A320-1, página 1 de 4.



| HOJA DE RESULTADOS RCM                                |  | SISTEMA:                     | SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN SIMULADORES A 320-1 Y A320-2                |                |  |     |                               |  | FACILITADOR:   | JUAN PABLO RAFFO B. | FECHA:  | 09-12-2015 | PÁGINA: | 2 DE 4 |
|---|--|------------------------------|---|----------------|--|-----|-------------------------------|--|--|---------------------|---|------------|---------|--------|
|   |  | SUB-SISTEMA:                 | EQUIPO DE PRECISIÓN STULZ PARA SERVIDORES DE SIMULADOR A 320-1        |                |  |     |                               |  | AUDITOR:   |                     | FECHA:  |            |         |        |
| SUB-SISTEMA /COMPONENTE                               | FUNCIÓN  | FALLA FUNCIONAL              | MODO DE FALLA   | FREC. DE FALLA | EVIDENCIA DE FALLA   | O/E | C. SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE | C. OPERACIONALES   | C. NO OPERACIONALES  | CRITICIDAD          | TAREAS DE MANTENIMIENTO   |            |         |        |
| 1<br>Equipo de precisión Stulz para servidores A320 1 | 1<br>Inyectar aire a 17°C y 14.000 m3/h en racks de servidores de simulador A3201. | A<br>No inyecta nada de aire | 7<br>Punto del ventilador de impulsión en tarjeta de control quemado. | 10%            | Mismas que en 11A1.  | E   | -                             | Mismas que en 11A1.  | <b>Reparación:</b> Reemplazar tarjeta de control<br><b>Tiempos:</b> 9 horas<br><b>Costos:</b> \$ 3.000.000   | C                   | Realizar reapriete de todos los terminales de la tarjeta (Mensual).<br>Chequear voltaje de transformador (parámetro: 24-27 V) (Mensual).<br>Limpiar tarjeta de control con limpia contactos (Trimestral).   |            |         |        |
|   |  |                              | 8<br>Correa del ventilador de impulsión cortada.                      | 10%            | Mismas que en 11A1.  | E   | -                             | Mismas que en 11A1.  | <b>Reparación:</b> Reemplazar correa de ventilador de impulsión A-37<br><b>Tiempos:</b> 2 horas<br><b>Costos:</b> Correa A-37: \$12.000  | NC                  | Chequear tensión de correa de ventilador de impulsión (Mensual).  |            |         |        |
|   |  | B<br>No inyecta aire a 17°C  | 1<br>Bobina de contactor del compresor en cortocircuito.              | 10%            | Led rojo se activará y el display indicará que el compresor del módulo 1 o 2 está en falla. Se activará alarma sonora. | E   | -                             | Se detendrá la generación de frío en el módulo afectado (son 2 módulos). El equipo podrá enfriar con un solo módulo por aproximadamente 3 horas, luego de lo cual pueden perderse los datos del curso impartido. | <b>Reparación:</b> Cambiar contactor de compresor.<br><b>Tiempos:</b> 7 horas.<br><b>Costos:</b> Contactor Compresor: \$213.886.   | NC                  | Medir y registrar corriente y voltaje en bobina de contactor de compresor (Mensual). Si ocurre la falla se recomienda bajar la temperatura de inyección al mínimo y reparar cuanto antes.   |            |         |        |
|   |  |                              | 2<br>Serpentín de condensador sucio                                   | 30%            | Se activará led rojo y alarma sonora. Se activará presostato de alta presión deteniéndose la generación de frío.       | E   | -                             | Mismas que en 11B1.  | <b>Reparación:</b> Se debe lavar el serpentín con fluido anti incrustaciones, reemplazar implemento dañado.<br><b>Tiempos:</b> conseguir repuestos: 2 hrs; reparación: 3 hrs; total: 5 hrs.<br><b>Costos:</b> Limpiador alcalino para serpentines exteriores marca Magnific o Triple "D": \$ 12.000. | NC                  | Lavar serpentín evaporador y condensador con limpiador alcalino marca Magnific o Triple D (Trimestral) Limpiar serpentines hidrolavadora a vapor (agua a presión) (Semestral).<br>Recomendación: En caso de que el serpentín se encuentre obstruido se debe limpiar con hidrolavadora a vapor (agua a presión). |            |         |        |
|   |  |                              | 3<br>Bobina de contactor de ventilador de condensado quemada.         | 10%            | Mismas que en 11B2.  | E   | -                             | Mismas que en 11B1.  | <b>Reparación:</b> Reemplazar contactor.<br><b>Tiempos:</b> Conseguir repuesto: 5 hrs; reparación: 2 hrs; total: 7 hrs.<br><b>Costos:</b> Contactor ventilador condensador: \$206.910.   | NC                  | Tomar consumos eléctricos del motor del ventilador de condensado (Mensual). Si se detecta variación en consumos eléctricos detener el módulo afectado y chequear los implementos mecánicos y electrónicos.  |            |         |        |

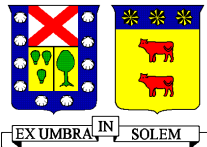
Figura 55: Resultados de análisis RCM: Equipo de precisión Stulz para servidores de simulador A320-1, página 2 de 4.

| HOJA DE RESULTADOS RCM                                |   | SISTEMA:                    | SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN SIMULADORES A 320-1 Y A320-2         |   |                    |  |                               |  | FACILITADOR:  | JUAN PABLO RAFFO B.  | FECHA:                  | 09-12-2015  | PÁGINA: | 3 DE 4 |
|---|---|-----------------------------|--|---|--------------------|--|-------------------------------|--|---|--|-------------------------|---|---------|--------|
|   |   | SUB-SISTEMA:                | EQUIPO DE PRECISIÓN STULZ PARA SERVIDORES DE SIMULADOR A 320-1 |   |                    |  |                               |  | AUDITOR:  |  | FECHA:                  |   |         |        |
| SUB-SISTEMA /COMPONENTE                               | FUNCIÓN   | FALLA FUNCIONAL             | MODO DE FALLA  | FREC. DE FALLA  | EVIDENCIA DE FALLA | O/E  | C. SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE | C. OPERACIONALES   | C. NO OPERACIONALES   | CRITICIDAD   | TAREAS DE MANTENIMIENTO |   |         |        |
| 1<br>Equipo de precisión Stulz para servidores A320 1 | 1<br>14.000 m3/h en racks de servidores de simulador A3201. | B<br>No inyecta aire a 17°C | 4  | Bobina del motor de ventilador de condensado quemada. | 30%                | Mismas que en 11B2.  | E                             | -  | Mismas que en 11B1.   | Reparación: Chequear estado de bobinas de motor y reemplazar si están quemadas.<br>Tiempos: Conseguir repuesto: 5 hrs; reparación: 4 hrs; total: 9 hrs.<br>Costos: Embobinado de motor: \$350.000 a \$450.000  | SC                      | Tomar consumos eléctricos del motor de ventilador de condensado (Mensual); Chequear rodamientos y aspas del ventilador de condensado (Anual).     |         |        |
|   |   |                             | 5  | Fuga de refrigerante                                  | 60%                | Se activará led rojo y alarma sonora. En display se indicará falla de baja presión en el módulo afectado. Se activará prestatado de baja presión deteniéndose la generación de frío. | E                             | Si hay fuga en el circuito de alta presión existe riesgo de quemaduras de alto grado por calor con poco tiempo de exposición. Si hay fuga en el circuito de baja presión, existe peligro de quemaduras de alto grado por frío por exposición prolongada. | Mismas que en 11B1.   | Reparación: Sacar todo el refrigerante del sistema a través de una bomba de vacío, presurizar el sistema con nitrógeno a 300 PSI aprox., identificar fuga, vaciar nitrógeno del sistema, reparar filtración (soldadura de plata y equipo de soldar que puede ser oxiacetilénico o gas y oxígeno), vaciar el sistema con bomba de vacío (-30 a -50 PSI de vacío), cargar refrigerante a la presión normal (alta: 250 PSI y baja a 50 PSI).<br>Tiempos: conseguir repuestos: 9 hrs; reparación: 4 hrs; total: 13 hrs.<br>Costos: Reparación fuga de refrigerante c/ proveedor: \$ 600.000 a \$1.000.000. | C                       | Medir presiones de trabajo (Trimestral) (ideal en cambio de estación); chequear visualmente posibles fugas de refrigerante (Trimestral).          |         |        |
|   |   |                             | 6  | Punto de tarjeta de control del compresor quemado.    | 10%                | Mismas que en 11B1.  | E                             | -  | Mismas que en 11B1.   | Reparación: Reemplazar tarjeta de control<br>Tiempos: 9 horas<br>Costos: \$ 3.000.000  | C                       | Mismas que en 11A7.   |         |        |
|   |   |                             | 7  | Fusible de control del compresor quemado.             | 10%                | Mismas que en 11B1.  | E                             | -  | Mismas que en 11B1.   | Mismas que en 11A4.  | C                       | Mismas que en 11A4.   |         |        |
|   | C<br>Inyecta aire a menos de 14.000 m3/h.                   | 1                           | 1  | Correas de ventilador de impulsión sueltas            | 40%                | Se escuchará un sonido agudo constante.  | E                             | -  | Los servidores del A320-1 no se verán afectados, sin embargo si no se regula la tensión de las correas estas pueden sufrir un corte.  | Reparación: Ajustar tensión de la correa utilizando el perno de ajuste del motor del ventilador de impulsión o ajustando la distancia entre las placas de la polea.<br>Tiempos: 2 horas<br>Costos: \$0   | NC                      | Mismas que en 11A8.   |         |        |
|   |   |                             | 2  | Filtro sucio  | 50%                | Si el filtro se encuentra muy saturado disminuirá el ruido normal de flujo de aire. Aumentarán los consumos eléctricos del ventilador de impulsión.                                  | E                             | -  | Si los filtros se encuentran muy saturados se puede detener el módulo afectado, en cuyo caso se contará con aproximadamente 3 horas para realizar la reparación sin que se pierdan los datos del curso impartido. | Reparación: Lavar o cambiar filtros de aire.<br>Tiempos: conseguir repuestos: 5 hrs; reparación: 3hrs; total: 8hrs.<br>Costos: Filtro: \$55.000 p/filtro.  | SC                      | Lavar filtros con líquido desengrasante desengrasante Emerel (Mensual). Chequear deterioro de filtros y reemplazar de ser necesario (Trimestral). |         |        |

Figura 56: Resultados de análisis RCM: Equipo de precisión Stulz para servidores de simulador A320-1, página 3 de 4.

| HOJA DE RESULTADOS RCM                                |  | SISTEMA: SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN SIMULADORES A 320-1 Y A320-2            |               |                |   |     |                               |  | FACILITADOR:  | JUAN PABLO RAFFO B. | FECHA:  | 09-12-2015 | PÁGINA: | 4 DE 4 |
|---|--|--|---------------|----------------|---|-----|-------------------------------|--|---|---------------------|---|------------|---------|--------|
|   |  | SUB-SISTEMA: EQUIPO DE PRECISIÓN STUZ PARA SERVIDORES DE SIMULADOR A 320-1 |               |                |   |     |                               |  | AUDITOR:  |                     | FECHA:  |            |         |        |
| SUB-SISTEMA /COMPONENTE                               | FUNCIÓN  | FALLA FUNCIONAL  | MODO DE FALLA | FREC. DE FALLA | EVIDENCIA DE FALLA  | O/E | C. SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE | C. OPERACIONALES   | C. NO OPERACIONALES   | CRITICIDAD          | TAREAS DE MANTENIMIENTO   |            |         |        |
| 1<br>Equipo de precisión Stulz para servidores A320 1 | 1<br>Inyectar aire a 17°C y 14.000 m3/h en racks de servidores de simulador A3201. | C<br>Inyecta aire a menos de 14.000 m3/h.                                  | 1             | 40%            | Correas de ventilador de impulsión sueltas<br>Se escuchará un sonido agudo constante.   | E   | -                             | Los servidores del A320-1 no se verán afectados, sin embargo si no se regula la tensión de las correas estas pueden sufrir un corte.   | <b>Reparación:</b> Ajustar tensión de la correa utilizando el perno de ajuste del motor del ventilador de impulsión o ajustando la distancia entre las placas de la polea.<br><b>Tiempos:</b> 2 horas<br><b>Costos:</b> \$0 | NC                  | Mismas que en 11A8.   |            |         |        |
|   |  |  | 2             | 50%            | Filtro sucio<br>Si el filtro se encuentra muy saturado disminuirá el ruido normal de flujo de aire. Aumentarán los consumos eléctricos del ventilador de impulsión. | E   | -                             | Si los filtros se encuentran muy saturados se puede detener el módulo afectado, en cuyo caso se contará con aproximadamente 3 horas para realizar la reparación sin que se pierdan los datos del curso impartido.  | <b>Reparación:</b> Lavar o cambiar filtros de aire.<br><b>Tiempos:</b> conseguir repuestos: 5 hrs; reparación: 3hrs; total: 8hrs.<br><b>Costos:</b> Filtro: \$55.000 p/filtro.  | SC                  | Lavar filtros con líquido desengrasante Emerel (Mensual). Chequear deterioro de filtros y reemplazar de ser necesario (Trimestral). |            |         |        |
|   |  |  | 3             | 40%            | Serpentín del evaporador sucio.<br>Disminuirá el ruido normal de flujo de aire. Aumentarán los consumos eléctricos del ventilador de impulsión.                     | E   | -                             | Aumentará la temperatura de inyección dependiendo de la suciedad del serpentín. En el peor de los casos el módulo afectado dejará de refrigerar y se deberá realizar la reparación en no más de 3 horas para evitar la pérdida de datos del curso impartido. | <b>Reparación:</b> Aspirar serpentín con aspiradora (ideal de alta potencia).<br><b>Tiempos:</b> 2 horas.<br><b>Costos:</b> \$0.  | NC                  | Aspirar serpentín evaporador con aspiradora de alta potencia (Mensual).   |            |         |        |

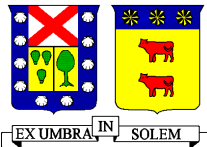
Figura 57: Resultados de análisis RCM: Equipo de precisión Stulz para servidores de simulador A320-1, página 4 de 4.



| HOJA DE RESULTADOS RCM                                |   | SISTEMA: SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN SIMULADOR A320-2                        |  |                |  |     |                               |   | FACILITADOR:   | JUAN PABLO RAFFO B. | FECHA:   | 09-12-2015 | PÁGINA: | 1 DE 3 |
|---|---|--|--|----------------|--|-----|-------------------------------|---|--|---------------------|--|------------|---------|--------|
|   |   | SUB-SISTEMA: EQUIPO DE PRECISIÓN STUZ PARA SERVIDORES DE SIMULADOR A 320-2 |  |                |  |     |                               |   | AUDITOR:   |                     | FECHA:   |            |         |        |
| SUB-SISTEMA /COMPONENTE                               | FUNCIÓN   | FALLA FUNCIONAL  | MODO DE FALLA  | FREC. DE FALLA | EVIDENCIA DE FALLA   | O/E | C. SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE | C. OPERACIONALES  | C. NO OPERACIONALES  | CRITICIDAD          | TAREAS DE MANTENIMIENTO  |            |         |        |
| 1<br>Equipo de precisión Stulz para servidores A320 2 | 1<br>Inyectar aire a 17°C y 8.300 m3/h en racks de servidores de simulador A3202. | A<br>No inyecta nada de aire   | 1<br>Cortocircuito en bobinas de contactor del ventilador de impulsión.          | 15%            | Se apagará uno de los módulos del equipo. Se activará un led rojo en display del equipo y una alarma sonora. | E   | -                             | El equipo puede funcionar con un solo módulo por aproximadamente 3 horas, luego de eso, existe el riesgo de que se pierdan los datos del curso impartido. | Reparación: Cambiar contactor de ventilador de impulsión.<br>Tiempos: 7 horas<br>Costos: Contactor Vent. Impulsión: \$202.141  | NC                  | Medir y registrar corriente y voltaje en bobina de contactor de ventilador de impulsión (Mensual). Si ocurre la falla se recomienda bajar la temperatura de inyección al mínimo.   |            |         |        |
|   |   |  | 2<br>Cortocircuito en bobinas de motor del ventilador de impulsión.              | 15%            | Mismas que en 11A1.  | E   | -                             | Mismas que en 11A1.   | Reparación: Embobinar motor de ventilador de impulsión.<br>Tiempos: 7 horas<br>Costos: Embobinado de motor: \$ 600.000   | SC                  | Medir y registrar corriente y voltaje en bobina de motor de ventilador de impulsión (Mensual). Realizar reapriete de conexiones eléctricas (Trimestral). Si ocurre la falla se recomienda bajar la temperatura de inyección al mínimo. |            |         |        |
|   |   |  | 3<br>Ausencia de señal de control (24V) en contactor de ventilador de impulsión. | 30%            | Mismas que en 11A1.  | E   | -                             | Mismas que en 11A1.   | Reparación: Chequear fusibles de control, chequear punto de tarjeta de control del ventilador de impulsión. Reemplazar implementos defectuosos.<br>Tiempos: 6 horas<br>Costos: Tarjeta de control: \$ 3.000.000  | C                   | Chequear señal de control 24 V en: contactor de ventilador de impulsión, entrada de tarjeta de control y salida de tarjeta de control (Mensual). Chequear estado de fusibles de control (Mensual).                                     |            |         |        |
|   |   |  | 4<br>Fusible de control del ventilador de impulsión quemado.                     | 30%            | Mismas que en 11A1.  | E   | -                             | Mismas que en 11A1.   | Reparación: Reemplazar fusible.<br>Tiempos: 3 horas<br>Costos: \$ 3.000  | NC                  | Chequear estado de fusibles de control (Mensual). Contar con un stock de fusibles de forma permanente.   |            |         |        |
|   |   |  | 5<br>Flow switch descalibrado  | 10%            | Mismas que en 11A1.  | E   | -                             | Mismas que en 11A1.   | Reparación: Realizar limpieza de flow switch, revisar que los contactos no estén cortocircuito o haciendo tierra y chequear sensibilidad del flow switch. Cambiar de ser necesario.<br>Tiempos: 2 horas (sin cambio) , 6 horas (con cambio)<br>Costos: Flow switch: \$ 150.000 | NC                  | Realizar limpieza de flow switch (Trimestral), reapriete de terminales de flow switch (Trimestral). Aplicar limpia contactos en flow switch (Trimestral)   |            |         |        |
|   |   |  | 6<br>Flow switch sucio   | 10%            | Mismas que en 11A1.  | E   | -                             | Mismas que en 11A1.   | Reparación: Realizar limpieza de flow switch.<br>Tiempos: 2 horas (sin cambio).<br>Costos: \$0   | NC                  | Mismas que en 11A5.  |            |         |        |

Figura 58: Resultados de análisis RCM: Equipo de precisión Stulz para servidores de simulador A320-2, página 1 de 3.





| HOJA DE RESULTADOS RCM                                |   | SISTEMA: SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN SIMULADOR A320-2                         |   |                |  |     |                               |  | FACILITADOR:  | JUAN PABLO RAFFO B. | FECHA:  | 09-12-2015 | PÁGINA: | 2 DE 3 |
|---|---|---|---|----------------|--|-----|-------------------------------|--|---|---------------------|---|------------|---------|--------|
|   |   | SUB-SISTEMA: EQUIPO DE PRECISIÓN STULZ PARA SERVIDORES DE SIMULADOR A 320-2 |   |                |  |     |                               |  | AUDITOR:  |                     | FECHA:  |            |         |        |
| SUB-SISTEMA /COMPONENTE                               | FUNCIÓN   | FALLA FUNCIONAL   | MODO DE FALLA   | FREC. DE FALLA | EVIDENCIA DE FALLA   | O/E | C. SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE | C. OPERACIONALES   | C. NO OPERACIONALES   | CRITICIDAD          | TAREAS DE MANTENIMIENTO   |            |         |        |
| 1<br>Equipo de precisión Stulz para servidores A320 2 | 1<br>Inyectar aire a 17°C y 8.300 m3/h en racks de servidores de simulador A3202. | A<br>No inyecta nada de aire  | 7<br>Punto del ventilador de impulsión en tarjeta de control quemado. | 10%            | Mismas que en 11A1.  | E   | -                             | Mismas que en 11A1.  | Reparación: Reemplazar tarjeta de control<br>Tiempos: 9 horas<br>Costos: \$ 3.000.000   | C                   | Realizar reapriete de todos los terminales de la tarjeta (Mensual).<br>Chequear voltaje de transformador (parámetro: 24-27 V) (Mensual).<br>Limpiar tarjeta de control con limpia contactos (Trimestral).   |            |         |        |
|   |   | B<br>No inyecta aire a 17°C   | 1<br>Bobina de contactor del compresor en cortocircuito.              | 10%            | Led rojo se activará y el display indicará que el compresor del módulo 1 o 2 está en falla. Se activará alarma sonora. | E   | -                             | Se detendrá la generación de frío en el módulo afectado (son 2 módulos). El equipo podrá enfriar con un solo módulo por aproximadamente 3 horas, luego de lo cual pueden perderse los datos del curso impartido. | Reparación: Cambiar contactor de compresor.<br>Tiempos: 7 horas.<br>Costos: Contactor Compresor: \$213.886.   | NC                  | Medir y registrar corriente y voltaje en bobina de contactor de compresor (Mensual). Si ocurre la falla se recomienda bajar la temperatura de inyección al mínimo y reparar cuanto antes.   |            |         |        |
|   |   |   | 2<br>Serpentín de condensador sucio                                   | 30%            | Se activará led rojo y alarma sonora. Se activará presostato de alta presión deteniéndose la generación de frío.       | E   | -                             | Mismas que en 11B1.  | Reparación: Se debe lavar el serpentín con fluido anti incrustaciones, reemplazar implemento dañado.<br>Tiempos: conseguir repuestos: 2 hrs; reparación: 3 hrs; total: 5 hrs.<br>Costos: Limpiador alcalino para serpentines exteriores marca Magnific o Triple "D": \$ 12.000. | NC                  | Lavar serpentín evaporador y condensador con limpiador alcalino marca Magnific o Triple D (Trimestral) Limpiar serpentines hidrolavadora a vapor (agua a presión) (Semestral).<br>Recomendación: En caso de que el serpentín se encuentre obstruido se debe limpiar con hidrolavadora a vapor (agua a presión). |            |         |        |
|   |   |   | 3<br>Bobina de contactor de ventilador de condensado quemada.         | 10%            | Mismas que en 11B2.  | E   | -                             | Mismas que en 11B1.  | Reparación: Reemplazar contactor.<br>Tiempos: Conseguir repuesto: 5 hrs; reparación: 2 hrs; total: 7 hrs.<br>Costos: Contactor ventilador condensador: \$206.910.   | NC                  | Tomar consumos eléctricos del motor del ventilador de condensado (Mensual). Si se detecta variación en consumos eléctricos detener el módulo afectado y chequear los implementos mecánicos y electrónicos.  |            |         |        |

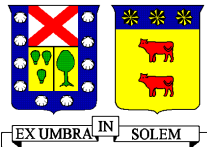
Figura 59: Resultados de análisis RCM: Equipo de precisión Stulz para servidores de simulador A320-2, página 2 de 3.

| HOJA DE RESULTADOS RCM                                |   | SISTEMA: SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN SIMULADOR A320-2                         |               |   |                    |  |                               |  | FACILITADOR:   | JUAN PABLO RAFFO B.  | FECHA:                  | 09-12-2015  | PÁGINA: | 3 DE 3 |
|---|---|---|---------------|---|--------------------|--|-------------------------------|--|--|--|-------------------------|---|---------|--------|
|   |   | SUB-SISTEMA: EQUIPO DE PRECISIÓN STULZ PARA SERVIDORES DE SIMULADOR A 320-2 |               |   |                    |  |                               |  | AUDITOR:   |  | FECHA:                  |   |         |        |
| SUB-SISTEMA /COMPONENTE                               | FUNCIÓN   | FALLA FUNCIONAL   | MODO DE FALLA | FREC. DE FALLA  | EVIDENCIA DE FALLA | O/E  | C. SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE | C. OPERACIONALES   | C. NO OPERACIONALES  | CRITICIDAD   | TAREAS DE MANTENIMIENTO |   |         |        |
| 1<br>Equipo de precisión Stulz para servidores A320 2 | 1<br>Inyectar aire a 17°C y 8.300 m3/h en racks de servidores de simulador A3202. | B<br>No inyecta aire a 17°C   | 4             | Bobina del motor de ventilador de condensado quemada. | 30%                | Mismas que en 11B2.  | E                             | -  | Mismas que en 11B1.  | Reparación: Chequear estado de bobinas de motor y reemplazar si están quemadas.<br>Tiempos: Conseguir repuesto: 5 hrs; reparación: 4 hrs; total: 9 hrs.<br>Costos: Embobinado de motor: \$350.000 a \$450.000  | SC                      | Tomar consumos eléctricos del motor de ventilador de condensado (Mensual); Chequear rodamientos y aspas del ventilador de condensado (Anual). |         |        |
|   |   |   | 5             | Fuga de refrigerante                                  | 60%                | Se activará led rojo y alarma sonora. En display se indicará falla de baja presión en el módulo afectado. Se activará presostato de baja presión deteniéndose la generación de frío. | E                             | Si hay fuga en el circuito de alta presión existe riesgo de quemaduras de alto grado por calor con poco tiempo de exposición. Si hay fuga en el circuito de baja presión, existe peligro de quemaduras de alto grado por frío por exposición prolongada. | Mismas que en 11B1.  | Reparación: Sacar todo el refrigerante del sistema a través de una bomba de vacío, presurizar el sistema con nitrógeno a 300 PSI aprox., identificar fuga, vaciar nitrógeno del sistema, reparar filtración (soldadura de plata y equipo de soldar que puede ser oxiacetilénico o gas y oxígeno), vaciar el sistema con bomba de vacío (-30 a -50 PSI de vacío), cargar refrigerante a la presión normal (alta: 250 PSI y baja a 50 PSI).<br>Tiempos: conseguir repuestos: 9 hrs; reparación: 4 hrs; total: 13 hrs.<br>Costos: Reparación fuga de refrigerante c/ proveedor: \$ 600.000 a \$1.000.000. | C                       | Medir presiones de trabajo (Trimestral) (ideal en cambio de estación); chequear visualmente posibles fugas de refrigerante (Trimestral).      |         |        |
|   |   |   | 6             | Punto de tarjeta de control del compresor quemado.    | 10%                | Mismas que en 11B1.  | E                             | -  | Mismas que en 11B1.  | Reparación: Reemplazar tarjeta de control<br>Tiempos: 9 horas<br>Costos: \$ 3.000.000  | C                       | Mismas que en 11A7.   |         |        |
|   |   |   | 7             | Fusible de control del compresor quemado.             | 10%                | Mismas que en 11B1.  | E                             | -  | Mismas que en 11B1.  | Mismas que en 11A4.  | C                       | Mismas que en 11A4.   |         |        |
| 1<br>Equipo de precisión Stulz para servidores A320 2 | 1<br>Inyectar aire a 17°C y 8.000 m3/h en racks de servidores de simulador A3202. | C<br>Inyecta aire a menos de 8.300 m3/h.                                    | 1             | Filtro sucio  | 50%                | Si el filtro se encuentra muy saturado disminuirá el ruido normal de flujo de aire. Aumentarán los consumos eléctricos del ventilador de impulsión.                                  | E                             | -  | Si los filtros se encuentran muy saturados se puede detener el módulo afectado, en cuyo caso se contará con aproximadamente 3 horas para realizar la reparación sin que se pierdan los datos del curso impartido.  | Reparación: Lavar o cambiar filtros de aire.<br>Tiempos: conseguir repuestos: 5 hrs; reparación: 3hrs; total: 8hrs.<br>Costos: Filtro: \$55.000 p/filtro.  | SC                      | Lavar filtros con líquido desengrasante Emerel (Mensual). Chequear deterioro de filtros y reemplazar de ser necesario (Trimestral).           |         |        |
|   |   |   | 2             | Serpentín del evaporador sucio.                       | 40%                | Disminuirá el ruido normal de flujo de aire. Aumentarán los consumos eléctricos del ventilador de impulsión.   | E                             | -  | Aumentará la temperatura de inyección dependiendo de la suciedad del serpentín. En el peor de los casos el módulo afectado dejará de refrigerar y se deberá realizar la reparación en no más de 3 horas para evitar la pérdida de datos del curso impartido. | Reparación: Aspirar serpentín con aspiradora (ideal de alta potencia).<br>Tiempos: 2 horas.<br>Costos: \$0.  | NC                      | Aspirar serpentín evaporador con aspiradora de alta potencia (Mensual).   |         |        |

Figura 60: Resultados de análisis RCM: Equipo de precisión Stulz para servidores de simulador A320-2, página 3 de 3.

| HOJA DE RESULTADOS RCM  |                                      | SISTEMA:  | SISTEMA DE REFRIGERACIÓN SIMULADOR B 787 |               |   |                    |  | FACILITADOR:                  | JUAN PABLO RAFFO B. | FECHA:   | 09-12-2015   | PÁGINA:                 | 1 DE 3   |
|-------------------------|--------------------------------------|---|--|---------------|---|--------------------|--|-------------------------------|---------------------|--|--|-------------------------|--|
| SUB-SISTEMA /COMPONENTE |                                      | FUNCIÓN   | FALLA FUNCIONAL                          | MODO DE FALLA | FREC. DE FALLA  | EVIDENCIA DE FALLA | O/E  | C. SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE | C. OPERACIONALES    | C. NO OPERACIONALES  | CRITICIDAD   | TAREAS DE MANTENIMIENTO |  |
| 1                       | Equipos de precisión servidores B787 | 1 Inyectar aire a 17°C y 7.080 m3/h en racks de servidores de simulador B787. | A No inyecta nada de aire                | 1             | Cortocircuito en bobinas de contactor del ventilador de impulsión.          | 15%                | El equipo se detendrá. Si el equipo afectado es el principal, se activará led gris y alarma sonora". Si el equipo afectado es cualquiera de los dos esclavos (3 en total) se activará sólo led gris. | E                             | -                   | El equipo se detendrá. Si pasado 3 horas no se conecta uno de los dos equipos en stand up, existe el riesgo de que se pierdan los datos del curso impartido. | <b>Reparación:</b> Cambiar contactor de ventilador de impulsión.<br><b>Tiempos:</b> 7 horas<br><b>Costos:</b> Contactor Vent. Impulsión: \$202.141   | NC                      | Medir y registrar corriente y voltaje en bobina de contactor de ventilador de impulsión (Mensual). Si ocurre la falla se recomienda bajar la temperatura de inyección al mínimo.   |
|                         |                                      |   |  | 2             | Cortocircuito en bobinas de motor del ventilador de impulsión.              | 15%                | Mismas que en 11A1.  | E                             | -                   | Mismas que en 11A1.  | <b>Reparación:</b> Embobinar motor de ventilador de impulsión.<br><b>Tiempos:</b> 7 horas<br><b>Costos:</b> Embobinado de motor: \$ 600.000  | SC                      | Medir y registrar corriente y voltaje en bobina de motor de ventilador de impulsión (Mensual). Realizar reapriete de conexiones eléctricas (Trimestral). Si ocurre la falla se recomienda bajar la temperatura de inyección al mínimo. |
|                         |                                      |   |  | 3             | Ausencia de señal de control (24V) en contactor de ventilador de impulsión. | 30%                | Mismas que en 11A1.  | E                             | -                   | Mismas que en 11A1.  | <b>Reparación:</b> Chequear fusibles de control, chequear punto de tarjeta de control del ventilador de impulsión. Reemplazar implementos defectuosos.<br><b>Tiempos:</b> 6 horas<br><b>Costos:</b> Tarjeta de control: \$ 3.000.000   | C                       | Chequear señal de control 24 V en contactor de ventilador de impulsión y en la entrada y salida de la tarjeta de control (Mensual). Chequear estado de fusibles de control (Mensual).  |
|                         |                                      |   |  | 4             | Fusible de control del ventilador de impulsión quemado.                     | 30%                | Mismas que en 11A1.  | E                             | -                   | Mismas que en 11A1.  | <b>Reparación:</b> Reemplazar fusible.<br><b>Tiempos:</b> 3 horas<br><b>Costos:</b> \$ 3.000   | NC                      | Mismas que en 1.1 1A3.   |
|                         |                                      |   |  | 5             | Flow switch descalibrado  | 10%                | Mismas que en 11A1.  | E                             | -                   | Mismas que en 11A1.  | <b>Reparación:</b> Realizar limpieza de flow switch, revisar que los contactos no estén en cortocircuito o haciendo tierra y chequear sensibilidad del flow switch. Cambiar de ser necesario.<br><b>Tiempos:</b> 2 horas (sin cambio) , 6 horas (con cambio)<br><b>Costos:</b> Flow switch: \$ 150.000 | NC                      | Realizar limpieza de flow switch (Trimestral), reapriete de terminales de flow switch (Trimestral). Aplicar limpia contactos en flow switch (Trimestral)   |
|                         |                                      |   |  | 6             | Flow switch sucio   | 10%                | Mismas que en 11A1.  | E                             | -                   | Mismas que en 11A1.  | <b>Reparación:</b> Realizar limpieza de flow switch.<br><b>Tiempos:</b> 2 horas (sin cambio).<br><b>Costos:</b> \$0  | NC                      | Mismas que en 11A5.  |

Figura 61: Resultados de análisis RCM: Equipos de precisión servidores B 787, página 1 de 3.



| HOJA DE RESULTADOS RCM                                 |   | SISTEMA:                     | SISTEMA DE REFRIGERACIÓN SIMULADOR B 787 |                |   |     |                               |  | FACILITADOR:  | JUAN PABLO RAFFO B. | FECHA:   | 09-12-2015 | PÁGINA: | 2 DE 3 |
|--|---|------------------------------|--|----------------|---|-----|-------------------------------|--|---|---------------------|--|------------|---------|--------|
|  |   | SUB-SISTEMA:                 | EQUIPOS DE PRECISIÓN SERVIDORES B 787    |                |   |     |                               |  | AUDITOR:  |                     | FECHA:   |            |         |        |
| SUB-SISTEMA /COMPONENTE                                | FUNCIÓN   | FALLA FUNCIONAL              | MODO DE FALLA                            | FREC. DE FALLA | EVIDENCIA DE FALLA  | O/E | C. SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE | C. OPERACIONALES   | C. NO OPERACIONALES   | CRITICIDAD          | TAREAS DE MANTENIMIENTO  |            |         |        |
| 1<br>Equipo de precisión Liebert para servidores B 787 | Inyectar aire a 17°C y 7.080 m3/h en racks de servidores de simulador B787. | A<br>No inyecta nada de aire | 7  | 10%            | Mismas que en 11A1.   | E   | -                             | Mismas que en 11A1.  | Reparación: Reemplazar tarjeta de control<br>Tiempos: 9 horas<br>Costos: \$ 3.000.000   | C                   | Realizar reapriete de todos los terminales de la tarjeta (Mensual).<br>Chequear voltaje de transformador (parámetro: 24-27 V) (Mensual).<br>Limpiar tarjeta de control con limpia contactos (Trimestral).  |            |         |        |
|  |   |                              | 8  | 10%            | Mismas que en 11A1.   | E   | -                             | Mismas que en 11A1.  | Reparación: Chequear voltaje de transformador y fusible. Cambiar implementos dañados.<br>Tiempos: 2-5 horas<br>Costos: Fusible: \$3.000 Transformador 220 a 24V : \$ 27.000   | NC                  | Chequear tensión de correa de ventilador de impulsión (Mensual).   |            |         |        |
|  |   | B<br>No inyecta aire a 17°C  | 1  | 10%            | La temperatura de inyección aumentará sobre los 17 °C. Si el equipo afectado es el principal, se activará led gris, alarma sonora y en el display se mostrará la alarma "compresor trip". Si el equipo afectado es cualquiera de los 2 esclavos, sólo se activará led gris.       | E   | -                             | Se detendrá la generación de frío en el módulo afectado (son 2 módulos). El equipo podrá enfriar con un solo módulo por aproximadamente 3 horas, luego de lo cual pueden perderse los datos del curso impartido. | Reparación: Cambiar contactor de compresor.<br>Tiempos: 7 horas.<br>Costos: Contactor Compresor: \$213.886.   | NC                  | Medir y registrar corriente y voltaje en bobina de contactor de compresor (Mensual). Si ocurre la falla se recomienda bajar la temperatura de inyección al mínimo y reparar cuanto antes.                  |            |         |        |
|  |   |                              | 2  | 30%            | La temperatura de inyección aumentará sobre los 17 °C. Si el equipo afectado es el principal, se activará led gris, alarma sonora y en el display se mostrará la alarma "high pressure unlock". Si el equipo afectado es cualquiera de los 2 esclavos, sólo se activará led gris. | E   | -                             | Mismas que en 11B1.  | Reparación: Se debe lavar el serpentín con fluido anti incrustaciones, reemplazar implemento dañado.<br>Tiempos: conseguir repuestos: 2 hrs; reparación: 3 hrs; total: 5 hrs.<br>Costos: Limpiador alcalino para serpentines exteriores marca Magnific o Triple "D": \$ 12.000. | NC                  | Lavar serpentín evaporador y condensador con limpiador alcalino marca Magnific o Triple D (Trimestral) Limpiar serpentines hidrolavadora a vapor (agua a presión) (Semestral).                             |            |         |        |
|  |   |                              | 3  | 10%            | Mismas que en 11B2.   | E   | -                             | Mismas que en 11A1.  | Reparación: Reemplazar contactor.<br>Tiempos: Conseguir repuesto: 5 hrs; reparación: 2 hrs; total: 7 hrs.<br>Costos: Contactor ventilador condensador: \$206.910.   | NC                  | Tomar consumos eléctricos del motor del ventilador de condensado (Mensual). Si se detecta variación en consumos eléctricos detener el equipo afectado y chequear los implementos mecánicos y electrónicos. |            |         |        |

Figura 62: Resultados de análisis RCM: Equipos de precisión servidores B 787, página 2 de 3.

| HOJA DE RESULTADOS RCM                                  |   | SISTEMA:                    | SISTEMA DE REFRIGERACIÓN SIMULADOR B 787 |   |   |  |                               |   | FACILITADOR:  | JUAN PABLO RAFFO B.  | FECHA:  | 09-12-2015  | PÁGINA: | 3 DE 3 |   |    |   |
|---|---|-----------------------------|--|---|---|--|-------------------------------|---|---|--|---|---|---------|--------|---|----|---|
|   |   | SUB-SISTEMA:                | EQUIPOS DE PRECISIÓN SERVIDORES B 787    |   |   |  |                               |   | AUDITOR:  |  | FECHA:  |   |         |        |   |    |   |
| SUB-SISTEMA /COMPONENTE                                 | FUNCIÓN   | FALLA FUNCIONAL             | MODO DE FALLA                            | FREC. DE FALLA  | EVIDENCIA DE FALLA  | O/E  | C. SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE | C. OPERACIONALES  | C. NO OPERACIONALES   | CRITICIDAD   | TAREAS DE MANTENIMIENTO   |   |         |        |   |    |   |
| 1<br>Equipo de precisión Liebert para servidores B 787. | 1<br>Inyectar aire a 17°C y 7.080 m3/h en racks de servidores de simulador B 787. | B<br>No inyecta aire a 17°C | 4  | Bobina del motor de ventilador de condensado quemada. | 30%   | Mismas que en 11B2.  | E                             | -   | Mismas que en 1. 1A1.   | Reparación: Chequear estado de bobinas de motor y reemplazar si están quemadas.<br>Tiempos: Conseguir repuesto: 5 hrs; reparación: 4 hrs; total: 9 hrs.<br>Costos: Embobinado de motor: \$350.000 a \$450.000  | SC  | Tomar consumos eléctricos del motor de ventilador de condensado (Mensual); Chequear rodamientos y aspas del ventilador de condensado (Anual). |         |        |   |    |   |
|   |   |                             | 5  | Fuga de refrigerante                                  | 60%   | La temperatura de inyección aumentará sobre los 17 °C. Si el equipo afectado es el principal, se activará led gris, alarma sonora y en el display se mostrará la alarma "low pressure unlock". Si el equipo afectado es cualquiera de los 2 esclavos, sólo se activará led gris. | E                             | Si hay fuga en el circuito de alta presión existe riesgo de quemaduras de alto grado por calor con poco tiempo de exposición. Si hay fuga en el circuito de baja presión, existe peligro de quemaduras de alto grado por frío por exposición prolongada.  | Mismas que en 1. 1A1.   | Reparación: Sacar todo el refrigerante del sistema a través de una bomba de vacío, presurizar el sistema con nitrógeno a 300 PSI aprox., identificar fuga, vaciar nitrógeno del sistema, reparar filtración (soldadura de plata y equipo de soldar que puede ser oxiacetilénico o gas y oxígeno), vaciar el sistema con bomba de vacío (-30 a -50 PSI de vacío), cargar refrigerante a la presión normal (alta: 250 PSI y baja a 50 PSI).<br>Tiempos: conseguir repuestos: 9 hrs; reparación: 4 hrs; total: 13 hrs.<br>Costos: Reparación fuga de refrigerante c/ proveedor: \$ 600.000 a \$1.000.000. | C   | Medir presiones de trabajo (Trimestral) (ideal en cambio de estación); chequear visualmente posibles fugas de refrigerante (Trimestral).      |         |        |   |    |   |
|   |   |                             | 6  | Punto de tarjeta de control del compresor quemado.    | 10%   | Mismas que en 11B1.  | E                             | -   | Mismas que en 1. 1A1.   | Reparación: Reemplazar tarjeta de control<br>Tiempos: 9 horas<br>Costos: \$ 3.000.000  | C   | Mismas que en 11A7.   |         |        |   |    |   |
|   |   |                             | 7  | Fusible de control del compresor quemado.             | 10%   | Mismas que en 11B1.  | E                             | -   | Mismas que en 1. 1A1.   | Mismas que en 11A4.  | C   | Mismas que en 11A4.   |         |        |   |    |   |
|   | C<br>Inyecta aire a menos de 7.080 m3/h.  | 1                           | Filtro sucio                             | 50%   | Si el filtro se encuentra muy saturado disminuirá el ruido normal de flujo de aire. Aumentarán los consumos eléctricos del ventilador de impulsión. | E  | -                             | Aumentará la temperatura de inyección dependiendo de la suciedad del serpentín. En el peor de los casos el equipo no enfriará nada de aire y se deberá conectar uno de los 2 equipos en stand-by en no más de 3 horas para así evitar que el servidor se apague y se pierdan los datos del curso impartido. | Reparación: Lavar o cambiar filtros de aire.<br>Tiempos: conseguir repuestos: 5 hrs; reparación: 3hrs; total: 8hrs.<br>Costos: Filtro: \$55.000 p/filtro. | SC   | Lavar filtros con líquido desengrasante desengrasante Emerel (Mensual). Chequear deterioro de filtros y reemplazar de ser necesario (Trimestral). |   |         |        |   |    |   |
|   |   |                             |  |   |   |  |                               |   | 2   | Serpentín del evaporador sucio.  | 40%   | Mismo efecto que en 1. 1C1.   | E       | -      | Reparación: Lavar o cambiar filtros de aire.<br>Tiempos: conseguir repuestos: 5 hrs; reparación: 3hrs; total: 8hrs.<br>Costos: Filtro: \$55.000 p/filtro. | SC | Lavar filtros con líquido desengrasante desengrasante Emerel (Mensual). Chequear deterioro de filtros y reemplazar de ser necesario (Trimestral). |

Figura 63: Resultados de análisis RCM: Equipos de precisión servidores B 787, página 3 de 3.

| HOJA DE RESULTADOS RCM                            |  | SISTEMA:   | SISTEMA DE REFRIGERACIÓN SIMULADOR A 320-1     |                |  |  |                               | FACILITADOR:  | JUAN PABLO RAFFO B.  | FECHA:     | 09-12-2015  | PÁGINA: | 1 DE 4 |
|---|--|--|--|----------------|--|--|-------------------------------|---|--|------------|---|---------|--------|
|   |  | SUB-SISTEMA:   | EQUIPO COMPACTO DE EMERGENCIA SIMULADOR A320-1 |                |  |  |                               | AUDITOR:  |  | FECHA:     |   |         |        |
| SUB-SISTEMA /COMPONENTE                           | FUNCIÓN  | FALLA FUNCIONAL  | MODO DE FALLA                                  | FREC. DE FALLA | EVIDENCIA DE FALLA   | O/E  | C. SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE | C. OPERACIONALES  | C. NO OPERACIONALES  | CRITICIDAD | TAREAS DE MANTENIMIENTO   |         |        |
| 1. Equipo compacto de emergencia simulador A320-1 | Suministrar aire frío a simulador A 320-1 a una temperatura entre 7°C y 12°C, en caso de falla del equipo compacto Morrison.       |  |  |                |  |  |                               |   |  |            |   |         |        |
| 1.1 Filtros                                       | Limpiar/filtrar el aire que ingresa al recinto, eliminando el polvo, humo y otro tipo de contaminantes.                            | No logra limpiar/filtrar el aire que ingresa al recinto. | 1 Filtro sucio                                 | 75%            | Se observarán restos de polvo en los difusores de aire; la Unidad Compacta puede detenerse dependiendo del grado de saturación de los filtros. | E  | -                             | Si los filtros se encuentran muy saturados la Unidad Compacta se detendrá ocasionando la inmediata detención del simulador por falta de flujo de aire.  | <b>Reparación:</b> Lavar o cambiar filtros de aire.<br><b>Tiempos:</b> Conseguir repuestos: 5 hrs.<br>Reparación: 3hrs. Total: 8hrs.<br><b>Costos:</b> Filtro MA08-2211241: \$ 20.000 p/filtro;<br>Total: \$ 40.000 (2 Filtros por Unidad Compacta).<br>Líquido desengrasante Emerel: \$ 20.000.   | C          | Lavar filtros utilizando líquido desengrasante marca Emerel (Mensual). Revisar color de lanilla del filtro, si se torna color crema reemplazar filtro (Mensual). Lavar serpentín con agua a presión (Mensual). Lavar serpentín con limpiador alcalino para serpentines exteriores marca Magnific o Triple "D" (Trimestral). |         |        |
| 1.2 Serpentin Evaporador                          | Transferir el calor desde el medio ambiente al refrigerante del circuito, cambiando el estado del refrigerante de líquido a vapor. | No logra enfriar el aire de inyección.                   | 1 Serpentin congelado.                         | 50%            | Se observará una disminución del caudal del aire de inyección.   | E  | -                             | El simulador se detendrá inmediatamente por falta de flujo de aire.   | <b>Reparación:</b> Descongelar manualmente el serpentín, chequear presiones de trabajo, cargar refrigerante de ser necesario.<br><b>Tiempos:</b> Conseguir repuestos: 4 hrs.<br><b>Costos:</b> Refrigerante R22 Global: \$70.200   | C          | Tomar consumo eléctrico del compresor (Mensual). Tomar presiones de trabajo (se recomienda en cambio de estación) (Semestral).  |         |        |
|   |  |  | 2 Fuga de refrigerante                         | 25%            | Pueden observarse manchas de aceite; El compresor se detendrá; Se activará el presostato de baja presión.                                      | Si hay fuga en el circuito de alta presión existe riesgo de quemaduras de alto grado con poco tiempo de exposición. Si hay fuga en el circuito de baja presión, existe peligro de quemaduras de alto grado por frío por exposición prolongada. | E                             | Se mantiene el caudal de aire, mas la temperatura es afectada por la condición de falla, aumentando la temperatura de inyección hacia el simulador. El simulador se detendrá pasado 10 minutos. | <b>Reparación:</b> Sacar todo el refrigerante del sistema a través de una bomba de vacío, presurizar el sistema con nitrógeno a 300 PSI aprox., identificar fuga, vaciar nitrógeno del sistema, reparar filtración (soldadura de plata y equipo de soldar que puede ser oxiacetilénico o gas y oxígeno), vaciar el sistema con bomba de vacío (-30 a -50 PSI de vacío), cargar refrigerante a la presión normal (alta: 150 PSI y baja a 60 PSI).<br><b>Tiempos:</b> Conseguir repuestos: 9 hrs;<br>Reparación: 4 hrs; Tiempo Total: 13 hrs.<br><b>Costos:</b> Carga de refrigerante: \$140.000.<br>Reparación de fuga y carga de refrigerante: \$ 600.000. | C          | Mismas que en 1.2 1A1.  |         |        |

Figura 64: Resultados de análisis RCM: Equipo Compacto de Emergencia A320-1, página 1 de 4.

| HOJA DE RESULTADOS RCM         |  | SISTEMA:   | SISTEMA DE REFRIGERACIÓN SIMULADOR A 320-1                    |                |  |     |  |   | FACILITADOR:   | JUAN PABLO RAFFO B. | FECHA:  | 09-12-2015 | PÁGINA: | 2 DE 4 |
|--------------------------------|--|--|---|----------------|--|-----|--|---|--|---------------------|---|------------|---------|--------|
|                                |  | SUB-SISTEMA:   | EQUIPO COMPACTO DE EMERGENCIA SIMULADOR A320-1                |                |  |     |  |   | AUDITOR:   |                     | FECHA:  |            |         |        |
| SUB-SISTEMA /COMPONENTE        | FUNCIÓN  | FALLA FUNCIONAL  | MODO DE FALLA   | FREC. DE FALLA | EVIDENCIA DE FALLA   | O/E | C. SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE  | C. OPERACIONALES  | C. NO OPERACIONALES  | CRITICIDAD          | TAREAS DE MANTENIMIENTO   |            |         |        |
| 1.3 Ventilador de impulsión    | 1 Mover el aire a través del serpentín del evaporador para acelerar la transferencia de calor. (Parámetros: 3-4 A).  | A No logra mover el aire a través del serpentín del evaporador.  | 1 Falta energía de control en bobina de contactor.            | 50%            | Revisar 1.9 1A1  | E   | Revisar 1.9 1A1  | Revisar 1.9 1A1   | Revisar 1.9 1A1  | C                   | Revisar 1.9 1A1   |            |         |        |
|                                |  |  | 2 Pérdida de aislación en bobinas de motor del ventilador.    | 25%            | La Unidad compacta dejará de generar aire frío y se detendrá.  | E   | -  | Mismas que en 1.2 1A1   | Reparación: Se debe chequear bobinas del motor en caso de corte, se debe proceder a cambiar o reparar motor.<br>Tiempos: Conseguir repuestos: 9 hrs;<br>Costos: Bobinado de motor: \$300.000   | C                   | Realizar reapriete de terminales eléctricos (Trimestral). Llevar registro de consumos eléctricos (Mensual).                               |            |         |        |
| 1.4 Compresor                  | 1 Elevar la temperatura y presión del refrigerante en forma de gas para después enviarlo al condensador (Parámetros: 10-12 A).   | A No logra elevar la temperatura y presión del refrigerante.     | 1 Bajo voltaje por aumento de corriente                       | 25%            | Se observará ruido anormal de funcionamiento.  | E   | -  | Mismo efecto que en 1.2 1A2, además con el tiempo se puede generar desgaste en las bobinas. | Reparación: Chequear el voltaje de suministro al equipo.<br>Tiempos: Conseguir repuestos: 3 hrs;<br>Reparación: 1 hrs; Tiempo Total: 4 hrs.<br>Costos: Compresor Copeland ZR57KC-TFD-522: \$4.081.792  | C                   | Comprobar aislación de bobinas con dispositivo Megger (Anual)   |            |         |        |
|                                |  |  | 2 Bobinas de compresor dañadas por sobre voltaje.             | 25%            | Ruido anormal de funcionamiento. El compresor puede detenerse.   | E   | -  | Mismo efecto que en 1.2 1A2.  | Reparación: Chequear el voltaje de suministro al equipo, chequear corrientes de trabajo del compresor y aislación de las bobinas del compresor, cambiar elemento dañado.<br>Tiempos: Conseguir repuestos: 5 hrs;<br>Costos: Compresor Copeland ZR57KC-TFD-522: \$4.081.792 | C                   | Mismas que en 1.4 1A1.  |            |         |        |
|                                |  |  | 3 Sobrecalentamiento del compresor por falta de refrigerante. | 25%            | Se activará presostato de baja presión y el compresor se detendrá.   | E   | Si hay fuga en el circuito de alta presión existe riesgo de quemaduras de alto grado con poco tiempo de exposición. Si hay fuga en el circuito de baja presión, existe peligro de quemaduras de alto grado por frío por exposición prolongada. | Mismo efecto que en 1.2 1A1.  | Reparación: Chequear corrientes de trabajo y presiones Costo: N/A  | C                   | Comprobar aislación de bobinas con dispositivo Megger (anualmente); Chequear presiones (Semestral) ; Medir voltaje y corriente (Mensual). |            |         |        |
| 1.5 Ventiladores de Condensado | 1 Mover el aire a través del serpentín del condensador para acelerar la transferencia de calor entre el aire y el refrigerante, pasando este último de gas a líquido (Parámetros: 1,5-3 A) | A No logra mover el aire a través del serpentín del condensador. | 1 Contactor no acciona  | 25%            | Ver 1.9 Contactores.   | E   | Ver 1.9 Contactores.   | Ver 1.9 Contactores.  | Ver 1.9 Contactores.   | C                   | Ver 1.9 Contactores.  |            |         |        |
|                                |  |  | 2 Embobinado de motor en falla.                               | 25%            | La Unidad Compacta dejará de generar aire frío y se detendrá. Se activará el automático de la unidad y presostato de alta presión. | E   | -  | Mismo efecto que en 1.2 1A1.  | Reparación: Chequear bobinado y corriente del (los) motores, cambio de implemento dañado.<br>Tiempos: Conseguir repuestos: 9 hrs;<br>Reparación: 2 hrs; Total: 11 hrs.<br>Costos: Motor ventilador condensador: \$250.000  | C                   | Chequear corriente y voltaje (Mensual)  |            |         |        |

Figura 65: Resultados de análisis RCM: Equipo Compacto de Emergencia A320-1, página 2 de 4.

| HOJA DE RESULTADOS RCM            |  | SISTEMA:  | SISTEMA DE REFRIGERACIÓN SIMULADOR A 320-1   |                |   |     |   | FACILITADOR:                                       | JUAN PABLO RAFFO B.  | FECHA:     | 09-12-2015  | PÁGINA: | 3 DE 4 |
|-----------------------------------|--|---|--|----------------|---|-----|---|--|--|------------|---|---------|--------|
|                                   |  | SUB-SISTEMA:  | EQUIPO COMPACTO DE EMERGENCIA SIMULADOR A320-1   |                |   |     |   | AUDITOR:   |  | FECHA:     |   |         |        |
| SUB-SISTEMA /COMPONENTE           | FUNCIÓN  | FALLA FUNCIONAL   | MODO DE FALLA  | FREC. DE FALLA | EVIDENCIA DE FALLA  | O/E | C. SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE   | C. OPERACIONALES                                   | C. NO OPERACIONALES  | CRITICIDAD | TAREAS DE MANTENIMIENTO   |         |        |
| 1.6<br>Serpentín Condensador      | 1<br>Permitir la transferencia de calor entre el refrigerante y el aire, pasando el refrigerante de gas a alta presión y temperatura, a líquido a alta presión y temperatura (Presión: 200-250 PSI). | A<br>No permite la transferencia de calor.  | 1<br>Fuga de refrigerante  | 25%            | Mismo efecto que en 1.2 1A2.  | E   | Si hay fuga en el circuito de alta presión existe riesgo de quemaduras de alto grado con poco tiempo de exposición. Equipo funciona con refrigerante R-22 el cual daña la capa de ozono y contribuye al efecto invernadero. | Puede ocurrir mismo efecto que en 1.2 1A2.         | Mismo efecto que en 1.2 1A2.   | C          | Ocupar lentes y guantes de cabritilla para evitar quemaduras; Para neutralizar efectos de refrigerante R-22 cuando se necesite sacar del sistema: sumergir manguera del árbol de carga en un recipiente con agua (R-22 se vuelve inocuo). Además mismas acciones que en 21A2. |         |        |
|                                   |  |   | 2<br>Condensador obstruido   | 50%            | Se activará presostato de alta presión y el compresor se detendrá; Existe un 25% de probabilidad de que el presostato de alta presión no se active provocando la quema del compresor. | E   |   | Mismo efecto que en modo de falla anterior 1.2 1A2 | <b>Reparación:</b> Lavar el serpentín con fluido anti incrustaciones, reemplazar implemento dañado.<br><b>Tiempos:</b> Conseguir repuestos: 2 hrs; Reparación: 3 hrs; Tiempo Total: 5 hrs.<br><b>Costos:</b> Líquido desincrustante: \$ 12.000 Aprox.  | SC         | Lavar serpentín con limpiador alcalino para serpentines exteriores marca Magnific o Triple "D" ocupando guantes de goma para evitar quemaduras por ácido (Trimestral). Lavar a alta presión con hidrolavadora (Mensual).  |         |        |
| 1.7<br>Presostato de alta presión | 1<br>Bloquear el funcionamiento del compresor, cuando la presión de alta sobrepasa los 230 PSI.  | A<br>No bloquea el funcionamiento del compresor cuando presión de alta sobrepasa los 230 PSI.     | 1<br>Sobrecalentamiento, término de vida útil, problemas en el bi-metal, falta de señal de control 24V.      | 25%            | Se observarán ruidos inusuales de funcionamiento, posible explosión de cañerías y fuga de refrigerante. Se accionará automático del equipo.   | O   | Existe peligro de explosiones, pudiendo ocasionar lesiones graves, incluso la muerte de una persona. También existe peligro de quemaduras graves por calor con poco tiempo de exposición.                                   | Mismo efecto que en 1.2 1A1.                       | <b>Reparación:</b> Reemplazar dispositivos defectuosos y chequear sistema.<br><b>Tiempos:</b> Conseguir repuestos: 4 hrs; Reparación: 3 hrs; Tiempo Total: 7 hrs.<br><b>Costos:</b> Presostato de alta presión: \$ 284.968 (Si se produjera explosión de cañerías los costos podrían superar \$ 1.000.000. | C          | Chequear funcionamiento de presostato de alta, tomando presiones durante días de mayor temperatura (Trimestral).  |         |        |
| 1.8<br>Presostato de baja presión | 1<br>Interrumpir el funcionamiento del compresor, si la presión de baja desciende por debajo de los 50 PSI.  | A<br>No bloquea el funcionamiento del compresor cuando presión de baja desciende bajo los 50 PSI. | 1<br>Presostato descalibrado, Término de vida útil, problemas en el bi-metal, falta de señal de control 24V. | 50%            | No se detectará la falla en circunstancias normales.  | O   | -   | Mismo efecto que en 1.2 1A2.                       | <b>Reparación:</b> Reemplazar dispositivos defectuosos y chequear sistema.<br><b>Tiempos:</b> Conseguir repuestos: 4 hrs; Reparación: 3 hrs; Tiempo Total: 7 hrs.<br><b>Costos:</b> Presostato de baja presión Danfos: \$167.039   | C          | Chequear funcionamiento de presostato de baja, tomando presiones en días de baja temperatura exterior, si no corta en 20 PSI en un tiempo de 3 minutos es porque el presostato tiene problemas. (Trimestral)  |         |        |
|                                   |  |   | 2<br>Cortocircuito en la línea de alimentación   | 25%            | Contactos del presostato se encuentran carbonizados o el cuerpo del presostato se encuentra de color café a negro (normalmente son de color verde).                                   | O   | -   | Mismo efecto que en 1.2 1A2.                       | Mismo efecto que en 1.8 1A1.   | C          | Chequear visualmente contacto y colores de los presostatos (normalmente son verdes, si se encuentran entre cafés y negros se deben reemplazar) (Mensual)  |         |        |

Figura 66: Resultados de análisis RCM: Equipo Compacto de Emergencia A320-1, página 3 de 4.



| HOJA DE RESULTADOS RCM   |   | SISTEMA:  | SISTEMA DE REFRIGERACIÓN SIMULADOR A 320-1     |                |   |     |                               |  | FACILITADOR:   | JUAN PABLO RAFFO B. | FECHA:   | 09-12-2015 | PÁGINA: | 4 DE 4 |
|--------------------------|---|---|--|----------------|---|-----|-------------------------------|--|--|---------------------|--|------------|---------|--------|
|                          |   | SUB-SISTEMA:  | EQUIPO COMPACTO DE EMERGENCIA SIMULADOR A320-1 |                |   |     |                               |  | AUDITOR:   |                     | FECHA:   |            |         |        |
| SUB-SISTEMA /COMPONENTE  | FUNCIÓN   | FALLA FUNCIONAL   | MODO DE FALLA                                  | FREC. DE FALLA | EVIDENCIA DE FALLA  | O/E | C. SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE | C. OPERACIONALES   | C. NO OPERACIONALES  | CRITICIDAD          | TAREAS DE MANTENIMIENTO  |            |         |        |
| 1.9 Contactores          | 1<br>Cerrar contactos para permitir el paso de corriente en ventiladores de impulsión (3 -4 A); compresor (14-17 A); ventiladores de condensado (1,5-2 A). Todos los contactores funcionan con un voltaje de 380-405 V. | A<br>Uno o más contactor no cierran (no accionan)                       | 1  | 25%            | Falta energía de control en bobina de un contactor (24V).<br>El dispositivo afectado (ya sea ventilador de impulsión, compresor o ventiladores de condensado) no arrancará. | E   | -                             | Mismo efecto que en 1.2 1A1.   | <b>Reparación:</b> Revisar fusible de control, y si la bobina esta quemada se debe reemplazar contactor.<br><b>Tiempos:</b> Conseguir repuestos: 9 hrs; reparación: 2 hrs; total: 11 hrs.<br><b>Costos:</b> Contactor Compresor/Telemecanique Bobina 24 V: \$ 362.488; Contactor Ventilador Impulsión Telemecanique Bobina 24 V: \$ 202.141; Contactor Ventiladores de Condensado Telemecanique Bobina 24 V: \$ 202.141. | C                   | Reapriete de terminales (Trimestral). Limpiar con limpia contactos (Anual). Limpiar contactos con soplador (Trimestral). Tomar consumos de voltaje y corriente (Mensual). Chequear con cámara infrarroja estado de contactores (temperatura normal aprox. 50°C) (Semestral). |            |         |        |
|                          |   |   | 2  | 25%            | Ausencia de una de las fases.<br>Equipo se detendrá junto con el simulador.   | E   | -                             | Mismo efecto que en 1.2 1A1.   | <b>Reparación:</b> Chequear voltaje en las tres líneas y apriete de conexiones desde el automático hasta el contactor afectado. Si no está ahí el problema chequear apriete de conexiones entre el automático general y el automático de la unidad compacta.<br><b>Tiempos:</b> Mismos que en 1.9 1A1.<br><b>Costos:</b> Mismos que en 1.9 1A1.  | C                   | Mismas que en 1.9 1A1.   |            |         |        |
| 1.10 Termostato ambiente | 1<br>Medir la temperatura ambiente para enviar señal a bornera de conexión según requerimiento de temperatura. (Parámetros: 220-230 V).   | A<br>No envía señal de requerimiento por temperatura al equipo compacto | 1  | 25%            | Falta energía de control en bobina de un contactor.<br>El equipo no se detendrá pero trabajará de forma irregular.  | E   | -                             | El equipo no se detendrá pero trabajará de forma irregular, pudiendo ocasionar la detención del simulador por temperatura. | <b>Reparación:</b> Chequear funcionamiento de Termostato y calibración, reemplazar implemento defectuosos.<br><b>Tiempos:</b> Conseguir repuestos: 5 hrs. Reparación: 2 hrs. Total: 7 hrs.<br><b>Costos:</b> Termostato Honeywell, modelo TH6110D1005: \$40.000  | SC                  | Chequeo de calibración de temperaturas Set Point, toma de consumos eléctricos y reapriete de terminales de termostato ambiente (Mensual)   |            |         |        |

Figura 67: Resultados de análisis RCM: Equipo Compacto de Emergencia A320-1, página 4 de 4.

| HOJA DE RESULTADOS RCM  |  | SISTEMA: SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN SIMULADORES A 320-1, A320-2, B787  |  |   |                    |  |                               |  | FACILITADOR:  | JUAN PABLO RAFFO B.  | FECHA:                  | 09-12-2015  | PÁGINA: | 1 DE 3 |
|-------------------------|--|---|--|---|--------------------|--|-------------------------------|--|---|--|-------------------------|---|---------|--------|
|                         |  | SUB-SISTEMA: EQUIPOS COMPACTOS SALA HPU B787 Y BAHÍAS DE SIMULADORES  |  |   |                    |  |                               |  | AUDITOR:  |  | FECHA:                  |   |         |        |
| SUB-SISTEMA /COMPONENTE | FUNCIÓN  | FALLA FUNCIONAL   | MODO DE FALLA  | FREC. DE FALLA  | EVIDENCIA DE FALLA | O/E  | C. SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE | C. OPERACIONALES   | C. NO OPERACIONALES   | CRITICIDAD   | TAREAS DE MANTENIMIENTO |   |         |        |
| 1                       | Equipos Compactos Sala HPU 787 y bahías de simuladores | 1 Climatizar la sala HPU B787 y bahías de los simuladores a una temperatura de inyección de 20°C.                                 |  |   |                    |  |                               |  |   |  |                         |   |         |        |
| 1.1                     | Termostato ambiente                                    | 1 Sensar temperatura ambiente y enviar señal a bornera de conexión según requerimiento de temperatura. Voltaje: 24-27 V.          | A No envía señal de requerimiento por temperatura.         | 1 Falta energía de control en bobina de un contactor. | 25%                | El equipo no se detendrá pero trabajará de forma irregular, ocasionando que la temperatura en la bahía varíe por sobre o por debajo de los 20°C. | E                             | -  | Si la temperatura de la bahía sobrepasa los 20°C, se verá afectado el sistema de video del simulador (aparecerán franjas negras en pantalla), sin embargo el simulador seguirá funcionando. | Reparación: Chequear funcionamiento de Termostato y calibración, reemplazar implemento defectuoso.<br>Tiempo: Conseguir repuestos: 5 hrs; Reparación: 2 hrs; Tiempo Total: 7 hrs.<br>Costos: Termostato Honeywell, modelo TH6110D1005: \$40.000  | NC                      | Chequear presencia de señal en termostato y si este entrega señal según requerimiento (Mensual).  |         |        |
| 1.2                     | Filtros  | 1 Limpiar/filtrar el aire que ingresa al recinto, eliminando polvo, humo y otro tipo de contaminantes.                            | A No logra limpiar/filtrar el aire que ingresa al recinto. | 1 Filtro Sucio  | 75%                | Se observarán restos de polvo en los difusores de aire; la Unidad Compacta puede detenerse dependiendo del grado de saturación de los filtros.   | E                             | -  | Mismo efecto que en 1.1 1A1.  | Reparación: Lavar o cambiar filtros de aire.<br>Tiempo: Conseguir repuestos: 9 hrs; Reparación: 2 hrs; Tiempo Total: 11 hrs.<br>Costos: Filtro de aire 20/25/2" X 8: \$19.125 c/u  | SC                      | Lavar filtros utilizando líquido desengrasante marca Emerel (Mensual). Revisar color de lanilla del filtro, si se torna color crema reemplazar filtro (Mensual). Lavar serpentín con agua a presión (Mensual). Lavar serpentín con limpiador alcalino para serpentines exteriores marca Magnific o Triple "D" (Trimestral). |         |        |
| 1.3                     | Serpentín evaporador                                   | 1 Transferir el calor del aire de la bahía al refrigerante que se encuentra circulando, cambiando este último de líquido a vapor. | A No logra enfriar el aire de inyección.                   | 1 Serpentín congelado.                                | 50%                | Se observará una disminución en el caudal de aire inyectado a la bahía.  | E                             | -  | Mismo efecto que en 1.1 1A1.  | Reparación: Descongelar manualmente el serpentín, chequear presiones de trabajo, cargar refrigerante de ser necesario.<br>Tiempo: Conseguir repuestos: 4 hrs; Reparación: 2 hrs; Tiempo Total: 6 hrs.<br>Costos: Carga Refrigerante R22 Global: \$70.200   | NC                      | Tomar consumo eléctrico del compresor (Mensual). Tomar presiones de trabajo (se recomienda en cambio de estación) (Semestral).  |         |        |
|                         |  |   |  | 2 Fuga de refrigerante                                | 25%                | Pueden observarse manchas de aceite; El compresor se detendrá; Se activará el preostato de baja presión.   | E                             | Si hay fuga en el circuito de alta presión existe riesgo de quemaduras de alto grado con poco tiempo de exposición. Si hay fuga en el circuito de baja presión, existe peligro de quemaduras de alto grado por frío por exposición prolongada. | Mismo efecto que en 1.1 1A1.  | Reparación: Sacar todo el refrigerante del sistema a través de una bomba de vacío, presurizar el sistema con nitrógeno a 300 PSI aprox., identificar fuga, vaciar nitrógeno del sistema, reparar filtración (soldadura de plata y equipo de soldar que puede ser oxiacetileno o gas y oxígeno), vaciar el sistema con bomba de vacío (-30 a -50 PSI de vacío), cargar refrigerante a la presión normal (alta: 150 PSI y baja a 60 PSI).<br>Tiempo: Conseguir repuestos: 9 hrs; Reparación: 4 hrs; Tiempo Total: 13 hrs.<br>Costos: Reparación fuga: \$540.000 (c/proveedor). | SC                      | Mismas que en 1.3 1A1.  |         |        |

Figura 68: Resultados de análisis RCM: Equipos compactos sala HPU 787 y bahías A320-1, A320-2 y B787, página 1 de 3.

| HOJA DE RESULTADOS RCM         |  | SISTEMA:  | SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN SIMULADORES A 320-1, A320-2, B787                            |                |   |     |                               |                              | FACILITADOR:   | JUAN PABLO RAFFO B. | FECHA:   | 09-12-2015 | PÁGINA: | 2 DE 3 |
|--------------------------------|--|---|--|----------------|---|-----|-------------------------------|------------------------------|--|---------------------|--|------------|---------|--------|
|                                |  | SUB-SISTEMA:  | EQUIPOS COMPACTOS SALA HPU B787 Y BAHÍAS DE SIMULADORES                                |                |   |     |                               |                              | AUDITOR:   |                     | FECHA:   |            |         |        |
| SUB-SISTEMA /COMPONENTE        | FUNCIÓN  | FALLA FUNCIONAL   | MODO DE FALLA  | FREC. DE FALLA | EVIDENCIA DE FALLA  | O/E | C. SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE | C. OPERACIONALES             | C. NO OPERACIONALES  | CRITICIDAD          | TAREAS DE MANTENIMIENTO  |            |         |        |
| 1.4 Ventilador de impulsión    | 1 Mover el aire a través del serpentín del evaporador para lograr el enfriamiento del aire e inyectarlo en la bahía. (Parámetros: 380-401 V; 2-3 A). | A No logra mover el aire a través del serpentín.  | 1 Falta de energía de control en bobina de contactor.                                  | 50%            | La temperatura de la bahía se va a elevar, lo cual se puede apreciar por las lecturas de temperatura de inyección del Compacto Morrison (si la temperatura de inyección no baja de los 20°C significa que hay falla). | E   | -                             | Mismo efecto que en 1.1 1A1. | Reparación: Se debe chequear bobinas del motor en caso de corte, se debe proceder a cambiar o reparar motor.<br>Tiempos: Conseguir repuestos: 9 hrs. Reparación: 2 hrs. Total: 11 hrs.<br>Costos: Bobinado: \$300.000                      | SC                  | Realizar reapriete de terminales eléctricos (Trimestral). Llevar registro de consumos eléctricos (Mensual).  |            |         |        |
|                                |  |   | 2 Motor de ventilador en falla.  | 25%            | Mismo efecto que en 1.4 1A1.  | E   | -                             | Mismo efecto que en 1.1 1A1. | Mismo efecto que en 1.4 1A1.   | NC                  | Mismas que en 1.4 1A1.   |            |         |        |
|                                |  |   | 3 Correa de ventilador cortada   | 50%            | Mismo efecto que en 1.4 1A1.  | E   | -                             | Mismo efecto que en 1.1 1A1. | Reparación: Chequear tensión de la correa, cambio de implemento dañado.<br>Tiempos: Conseguir repuestos: 5 hrs; Reparación: 1 hrs; Tiempo Total: 6 hrs.<br>Costo: Correa BX95: \$22.000  | SC                  | Chequear tensión de correa (Trimestral). Tomar consumos eléctricos (Mensual). Reapriete de conexiones y terminales (Trimestral).   |            |         |        |
| 1.5 Compresores                | 1 Elevar la temperatura y presión del refrigerante en forma de gas para después enviarlo al condensador (Parámetro: 10-12 A)                         | A No logra elevar la temperatura y presión del refrigerante .   | 1 Bajo Voltaje por aumento de corriente, calentamiento o daño en aislación de bobinas. | 25%            | Se escuchará ruido anormal de funcionamiento.   | E   | -                             | Mismo efecto que en 1.1 1A1. | Reparación: Chequear voltaje de suministro hacia el equipo y reemplazar componente dañado.<br>Tiempos: Conseguir repuestos: 9 hrs; Reparación: 9 hrs; Tiempo Total: 18 hrs.<br>Costos: Compresor Trane modelo YCH250BDLOGAAAA: \$1.637.686 | C                   | Chequear presiones de trabajo (Trimestral), lavar serpentín y filtros y tomar consumo eléctricos (Mensual).  |            |         |        |
|                                |  |   | 2 Sobre calentamiento del compresor por falta de refrigerante.                         | 25%            | Se escuchará ruido anormal de funcionamiento; se accionará presostato de baja presión.  | E   | -                             | Mismo efecto que en 1.1 1A1. | Reparación: Chequear corrientes de trabajo y presiones y cargar refrigerante de ser necesario.<br>Tiempos: Conseguir repuestos: 4 hrs; Reparación: 2 hrs; Tiempo Total: 6 hrs.<br>Costos: Refrigerante R22 Global: \$70.200                | C                   | Mismas que en 1.5 1A1.   |            |         |        |
| 1.6 Ventiladores de condensado | 1 Mover el aire a través del serpentín del condensador para ayudar a transformar el refrigerante de gas a líquido (Parámetros: 1,5-3 A).             | A No logra mover el aire a través del serpentín del condensador para ayudar a transformar el refrigerante de gas a líquido. | 1 Contactor en falla por falta energía de control en bobina de contactor.              | 50%            | Saltará el presostato de alta del equipo, dejando fuera la generación de frío. La temperatura en la bahía aumentará.  | E   | -                             | Mismo efecto que en 1.1 1A1. | Reparación: Chequear corriente y bobinado del (los) motores, cambiar de implemento dañado.<br>Tiempos: Conseguir repuestos: 9 hrs. Reparación: 2 hrs. Tiempo Total: 11 hrs.<br>Costos: Motor ventilador condensador: \$ 250.000.           | SC                  | Chequear presiones de trabajo (Trimestral). Lavar serpentín y filtros (Mensual). Tomar consumos eléctricos de ventiladores de condensado (Mensual). Reapriete terminales (Trimestral). |            |         |        |

Figura 69: Resultados de análisis RCM: Equipos compactos sala HPU 787 y bahías A320-1, A320-2 y B787, página 2 de 3.

| HOJA DE RESULTADOS RCM  |                            | SISTEMA: SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN SIMULADORES A 320-1, A320-2, B787  |               |  |                    |   |                               |  | FACILITADOR:        | JUAN PABLO RAFFO B.  | FECHA:  | 09-12-2015  | PÁGINA: | 3 DE 3   |
|-------------------------|----------------------------|---|---------------|--|--------------------|---|-------------------------------|--|---------------------|--|---|---|---------|--|
|                         |                            | SUB-SISTEMA: EQUIPOS COMPACTOS SALA HPU B787 Y BAHÍAS DE SIMULADORES  |               |  |                    |   |                               |  | AUDITOR:            |  | FECHA:  |   |         |  |
| SUB-SISTEMA /COMPONENTE | FUNCIÓN                    | FALLA FUNCIONAL   | MODO DE FALLA | FREC. DE FALLA   | EVIDENCIA DE FALLA | O/E   | C. SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE | C. OPERACIONALES   | C. NO OPERACIONALES | CRITICIDAD   | TAREAS DE MANTENIMIENTO   |   |         |  |
| 1.7                     | Serpentín condensador      | Permitir la transferencia de calor entre el refrigerante y el aire exterior, pasando el refrigerante de gas a alta presión y temperatura a líquido a alta presión y temperatura (Presión: 200-250 PSI).                     | A             | No logra Intercambiar el calor.  | 1                  | Fuga de refrigerante                                | 25%                           | Mismo efecto que en 1.3 1A2.   | E                   | -  | Mismas que en 1.1 1A1.  | Mismo efecto que en 1.3 1A2.  | NC      | Chequear presiones de trabajo (Trimestral), lavar serpentín y filtros (Mensual), tomar consumos eléctricos (Mensual).  |
|                         |                            |   |               |  | 2                  | Condensador obstruido                               | 50%                           | Se activará presostato de alta presión y se detendrá el compresor.   | E                   | -  | Mismas que en 1.1 1A1.  | Reparación: Lavar serpentín con fluido anti incrustaciones, reemplazar implemento dañado. <b>Tiempos:</b> Conseguir repuestos: 4 hrs. Reparación: 2 hrs. Tiempo Total: 6 hrs. <b>Costos:</b> Limpiador alcalino para serpentines exteriores Triple "D": \$ 12.000   | SC      | Lavar serpentín evaporador y condensador con limpiador alcalino marca Magnific o Triple D (Trimestral) Limpiar serpentines con hidrolavadora a vapor (agua a presión) (Semestral). |
| 1.8                     | Presostato de alta presión | Bloquear el funcionamiento del compresor, cuando la presión exceda los 250 PSI  | A             | No bloquea el funcionamiento del compresor cuando la presión excede los 250 PSI                        | 1                  | Sobrecalentamiento                                  | 25%                           | Se escucharán ruidos anormales de funcionamiento. Posible explosión de cañerías y fuga de gas refrigerante. Se accionará el automático del equipo. | E                   | Fugas en circuito de alta presión: riesgo de quemaduras de alto grado con poco tiempo de exposición. Fugas de R-22: Daños en capa de Ozono y calentamiento global. | Mismas que en 1.1 1A1.  | Reparación: Se debe lavar el serpentín con fluido anti incrustaciones, reemplazar implemento dañado. <b>Tiempos:</b> Conseguir repuestos: 3 hrs; Reparación: 4 hrs; Tiempo Total: 7 hrs. <b>Costos:</b> Presostato de Alta Presión: \$ 284.968  | C       | Llevar un registro del voltaje de control de 24-27 V (Mensual). Llevar registro de presiones de trabajo (Trimestral).  |
| 1.9                     | Presostato de baja presión | Interrumpir el funcionamiento del compresor, si la presión de baja desciende por debajo de los 30 PSI   | A             | No interrumpe el funcionamiento del compresor si la presión de baja desciende por debajo de los 30 PSI | 1                  | Fuga de refrigerante                                | 25%                           | No se detectará la falla en circunstancias normales.   | E                   | Si hay fuga en el circuito de baja presión existe riesgo de quemaduras de alto grado (por frío) con prolongado tiempo de exposición.                               | Mismas que en 1.1 1A1.  | Reparación: Reemplazar dispositivos defectuosos y chequear sistema. <b>Tiempos:</b> Conseguir repuestos: 3 hrs. Reparación: 4 hrs. Tiempo Total: 7 hrs. <b>Costos:</b> Presostato de baja presión Danfos: \$ 167.039  | C       | Mismas que en 1.8 1A1.   |
| 1.10.                   | Contactores                | Cerrar contactos para permitir el paso de corriente en ventiladores de impulsión (3 a 4 A); compresores (14 a 17 A); ventiladores de condensado (1,5 a 2 A). Todos los contactores funcionan con un voltaje de 380 a 405 V. | A             | Uno o más contactores no accionan.   | 1                  | Falta energía de control en bobina de un contactor. | 50%                           | El dispositivo afectado no arrancará.  | E                   | -  | Mismas que en 1.1 1A1.  | Reparación: Revisar fusible de control, y si la bobina del contactor esta quemada, se debe reemplazar contactor. <b>Tiempos:</b> Conseguir repuestos: 9 hrs (dependiendo de respuesta del proveedor); reparación: 2 hrs; total: 11 hrs. <b>Costos:</b> Contactor Telemecanique Bobina 220V: \$131.120; Contactor Vent. Impulsión: \$202.141.  | SC      | Chequear que el voltaje desde el transformador a la tarjeta sea de 24 a 27 V (Mensual).  |
|                         |                            |   |               |  | 2                  | Ausencia de una de las fases.                       | 33%                           | El equipo se detendrá y aumentará la temperatura en la bahía.  | E                   | -  | No ocasionará la detención del simulador, pero la unidad compacta se detendrá, aumentando la temperatura dentro de bahía, forzando el funcionamiento del compacto Morrison. | Reparación: Chequear voltaje en las tres líneas desde el automático general al equipo y apriete de conexiones desde el automático hasta el contactor afectado. Si no existe presencia de voltaje chequear tableros de alimentación general. <b>Tiempos:</b> Conseguir repuestos: 4 hrs; Reparación: 2 hrs; Tiempo Total: 6 hrs. <b>Costos:</b> Automático trifásico Costo: \$39.000 | NC      | Realizar reapriete de conexiones de todo el circuito del compresor (automático, contactor y borneras) (Trimestralmente); tomar consumos eléctricos (Mensual).                      |
|                         |                            |   |               |  | 3                  | Caída del automático del equipo.                    | 50%                           | El equipo se detendrá por falta de corriente de fuerza trifásica.  | E                   | -  | Mismo efecto que en 1.10 1A2.   | Reparación: Subir automático y chequear si vuelve a accionar. Revisar posibles cortes en compresores y ventiladores y reemplazar dispositivos dañados. Medir temperatura de activación de automático, con cámara termográfica u similar. <b>Tiempos:</b> conseguir repuestos: 4 hrs; Reparación: 2 hrs; Tiempo Total: 6 hrs. <b>Costos:</b> Automático Legrand c40: \$25.000        | SC      | Mismas que en 1.10 1A2.  |

Figura 70: Resultados de análisis RCM: Equipos compactos sala HPU 787 y bahías A320-1, A320-2 y B787, página 3 de 3.

## 9.2. Histórico de fallas sistemas de aire acondicionado simuladores

| Fecha        | Equipo en falla      | Simulador afectado | Tiempo de parada simulador [hr] | Costo reparación     | Costo ineficiencia  |
|--------------|----------------------|--------------------|---------------------------------|----------------------|---------------------|
| 01-02-2011   | Morrison A320-1      | A320-1             | 0                               | \$ 292.139           | \$ -                |
| 01-06-2011   | Torre Enfriamiento 1 | A320-1             | 0                               | \$ 394.835           | \$ -                |
| 01-06-2011   | Morrison A320-1      | A320-1             | 8                               | \$ 813.960           | \$ 3.080.000        |
| 01-10-2011   | Morrison A320-1      | A320-1             | 3                               | \$ 345.990           | \$ 1.155.000        |
| 20-02-2012   | Morrison A320-1      | A320-1             | 0                               | \$ -                 | \$ -                |
| 26-03-2012   | Morrison A320-1      | A320-1             | 0                               | \$ 3.375.905         | \$ -                |
| 01-04-2012   | Torre Enfriamiento 1 | A320-1             | 0                               | \$ 571.801           | \$ -                |
| 01-05-2012   | Morrison A320-1      | A320-1             | 2                               | \$ -                 | \$ 770.000          |
| 08-05-2012   | Morrison A320-1      | A320-1             | 0                               | \$ -                 | \$ -                |
| 01-06-2012   | Morrison A320-1      | A320-1             | 5,5                             | \$ 274.803           | \$ 2.117.500        |
| 01-09-2012   | Morrison A320-1      | A320-1             | 2,5                             | \$ 2.701.779         | \$ 962.500          |
| 01-02-2013   | Morrison A320-1      | A320-1             | 0                               | \$ 217.626           | \$ -                |
| 01-05-2013   | Morrison A320-1      | A320-1             | 0                               | \$ 1.509.295         | \$ -                |
| 01-06-2013   | C. Emergencia A320-1 | A320-1             | 0                               | \$ 651.852           | \$ -                |
| 01-07-2013   | Morrison A320-1      | A320-1             | 0                               | \$ 245.658           | \$ -                |
| 01-04-2014   | Morrison A320-1      | A320-1             | 0                               | \$ -                 | \$ -                |
| 01-05-2014   | Torre Enfriamiento 1 | A320-1             | 0                               | \$ -                 | \$ -                |
| 01-06-2014   | Torre Enfriamiento 1 | A320-1             | 2                               | \$ -                 | \$ 770.000          |
| 01-08-2014   | Morrison A320-1      | A320-1             | 0                               | \$ -                 | \$ -                |
| <b>TOTAL</b> |                      |                    | <b>23</b>                       | <b>\$ 11.395.643</b> | <b>\$ 8.855.000</b> |

Tabla 51: Histórico de fallas 2011-2015, sistema de aire acondicionado A320-1.

| Fecha        | Equipo en falla      | Simulador afectado | Tiempo de parada simulador [hr] | Costo reparación     | Costo ineficiencia   |
|--------------|----------------------|--------------------|---------------------------------|----------------------|----------------------|
| 01-04-2011   | Morrison A320-2      | A320-2             | 0                               | \$ 3.343.481         | \$ -                 |
| 01-06-2011   | Morrison A320-2      | A320-2             | 7                               | \$ 564.300           | \$ 2.695.000         |
| 01-11-2011   | Morrison A320-2      | A320-2             | 2                               | \$ 489.516           | \$ 770.000           |
| 01-12-2011   | Precisión A320-2     | A320-2             | 5                               | \$ 108.300           | \$ 1.925.000         |
| 01-04-2012   | Morrison A320-2      | A320-2             | 2,5                             | \$ 2.566.454         | \$ 962.500           |
| 01-04-2012   | Torre Enfriamiento 3 | A320-2             | 0                               | \$ 1.122.056         | \$ -                 |
| 01-05-2012   | Morrison A320-2      | A320-2             | 6                               | \$ 148.000           | \$ 2.310.000         |
| 27-07-2012   | Morrison A320-2      | A320-2             | 0                               | \$ 267.634           | \$ -                 |
| 01-10-2012   | Morrison A320-2      | A320-2             | 0                               | \$ 236.019           | \$ -                 |
| 01-02-2013   | Morrison A320-2      | A320-2             | 0                               | \$ 465.109           | \$ -                 |
| 01-09-2013   | Morrison A320-2      | A320-2             | 0                               | \$ 271.285           | \$ -                 |
| 01-05-2014   | Morrison A320-2      | A320-2             | 0                               | \$ 647.427           | \$ -                 |
| 01-09-2014   | Torre Enfriamiento 3 | A320-2             | 0                               | \$ -                 | \$ -                 |
| 01-10-2014   | Precisión A320-2     | A320-2             | 8                               | \$ -                 | \$ 3.080.000         |
| <b>TOTAL</b> |                      |                    | <b>30,5</b>                     | <b>\$ 10.229.581</b> | <b>\$ 11.742.500</b> |

Tabla 52: Histórico de fallas 2011-2015, sistema de aire acondicionado A320-2.

| Fecha        | Equipo en falla  | Simulador afectado | Tiempo de parada simulador [hr] | Costo reparación | Costo ineficiencia |
|--------------|------------------|--------------------|---------------------------------|------------------|--------------------|
| 30-03-2012   | Compacto HPU 787 | B787               | 0                               | \$ -             | \$ -               |
| <b>TOTAL</b> |                  |                    | <b>0</b>                        | <b>\$ -</b>      | <b>\$ -</b>        |

Tabla 53: Histórico de fallas 2011-2015, sistema de aire acondicionado B787.

### 9.3. Costos de ineficiencia y reparación estimados por alternativa

A continuación se presentan los costos de ineficiencia y reparación para cada alternativa de inversión. Estos costos se calcularon para cada modo de falla analizado, a través de la suma ponderada de la frecuencia de falla por los costos de ineficiencia y reparación esperados para ese modo de falla.

Es necesario mencionar que solamente se contabilizaron los costos de los modos de falla clasificados como críticos y semi-críticos.

#### 9.3.1. Costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 0.

Esta alternativa contempla no realizar ningún tipo de mantenimiento preventivo, de esta manera los costos de ineficiencia y reparación estimados, corresponden a los obtenidos directamente del análisis RCM. En la Tabla 54 se presenta el resumen de los costos de ineficiencia y reparación estimados para la alternativa 0. En las Tablas 55 a 65 se presenta el detalle de los costos de ineficiencia y reparación para cada modo de falla.

| Equipo                                 | Costo Ineficiencia Esperado | Costo Reparación Esperado | Total                 |
|--|-----------------------------|---------------------------|-----------------------|
| Compacto Morrison A3201                | \$ 6.500.902                | \$ 3.690.631              | \$ 10.191.533         |
| Compacto Morrison A3202                | \$ 19.594.268               | \$ 3.690.631              | \$ 23.284.899         |
| Compacto de Emergencia A320-1          | \$ -                        | \$ 3.130.955              | \$ 3.130.955          |
| Compactos Salas HPU y Bahías           | \$ -                        | \$ 4.379.550              | \$ 4.379.550          |
| Equipo de Precisión A320-1             | \$ 14.283.672               | \$ 7.058.400              | \$ 21.342.072         |
| Torres de Enfriamiento A320-1 y A320-2 | \$ 21.540.876               | \$ 1.801.110              | \$ 23.341.986         |
| Chiller B787                           | \$ 5.852.643                | \$ 12.045.810             | \$ 17.898.453         |
| UMA Morrison B787                      | \$ 10.980.115               | \$ 502.193                | \$ 11.482.308         |
| <b>TOTAL</b>                           | <b>\$ 78.752.476</b>        | <b>\$ 36.299.279</b>      | <b>\$ 115.051.755</b> |

Tabla 54: Resumen de costos de ineficiencia y reparación estimados para alternativa 0 (no realizar ningún tipo de mantenimiento preventivo).

| Compacto Morrison A320-1   |                  |   |            |                     |                                  |                     |                                |                              |
|----------------------------|------------------|---|------------|---------------------|----------------------------------|---------------------|--------------------------------|------------------------------|
| Sub-Sistema o Componente   | N° Modo de Falla | Modo de Falla   | Criticidad | Frecuencia de Falla | Tiempo de Parada Simulador (hrs) | Costo de Reparación | Costo de Ineficiencia Esperado | Costo de Reparación Esperado |
| Filtros                    | 1.1. 1A1         | Filtro sucio.   | C          | 75%                 | 1,5                              | \$ 20.000           | \$ 412.029                     | \$ 15.000                    |
| Serpentín evaporador       | 1.2. 1A1         | Serpentín congelado o tapado.   | C          | 50%                 | 1,5                              | \$ 600.000          | \$ 274.686                     | \$ 300.000                   |
| Serpentín evaporador       | 1.2. 1A2         | Fuga de refrigerante.   | C          | 25%                 | 1,5                              | \$ 600.000          | \$ 137.343                     | \$ 150.000                   |
| Ventilador de impulsión    | 1.3. 1A1         | Contactador en falla.   | C          | 25%                 |                                  |                     | \$ -                           | \$ -                         |
| Ventilador de impulsión    | 1.3. 1A2         | Pérdida de aislación en bobinas de motor del ventilador.  | C          | 25%                 | 41                               | \$ 600.000          | \$ 3.754.042                   | \$ 150.000                   |
| Compresor                  | 1.4. 1A1         | Bajo voltaje por aumento de corriente.  | C          | 25%                 | 1,5                              | \$ 4.081.000        | \$ 137.343                     | \$ 1.020.250                 |
| Compresor                  | 1.4. 1A2         | Bobinas de compresor dañadas por sobre voltaje.   | C          | 25%                 | 1,5                              | \$ 4.081.000        | \$ 137.343                     | \$ 1.020.250                 |
| Compresor                  | 1.4. 1A3         | Sobrecalentamiento del compresor por falta de refrigerante.   | C          | 25%                 | 1,5                              |                     | \$ 137.343                     | \$ -                         |
| Ventiladores de condensado | 1.5. 1A1         | Contactador en falla.   | C          | 25%                 |                                  |                     | \$ -                           | \$ -                         |
| Ventiladores de condensado | 1.5. 1A2         | Embobinado de motor en cortocircuito.   | C          | 25%                 | 1,5                              | \$ 500.000          | \$ 137.343                     | \$ 125.000                   |
| Serpentín Condensador      | 1.6. 1A1         | Fuga de refrigerante.   | C          | 25%                 | 1,5                              | \$ 600.000          | \$ 137.343                     | \$ 150.000                   |
| Serpentín Condensador      | 1.6. 1A2         | Condensador obstruido.  | C          | 50%                 | 1,5                              | \$ 12.000           | \$ 274.686                     | \$ 6.000                     |
| Presostato de alta presión | 1.7. 1A1         | Sobrecalentamiento, pérdida de vida útil, problemas en el bi-metal, falta de señal de control 24V.      | C          | 25%                 | 1,5                              | \$ 1.000.000        | \$ 137.343                     | \$ 250.000                   |
| Presostato de baja presión | 1.8. 1A1         | Presostato descalibrado, pérdida de vida útil, problemas en el bi-metal, falta de señal de control 24V. | C          | 50%                 | 1,5                              | \$ 97.182           | \$ 274.686                     | \$ 48.591                    |
| Presostato de baja presión | 1.8. 1A2         | Cortocircuito en línea de alimentación.   | C          | 25%                 | 1,5                              | \$ 97.182           | \$ 137.343                     | \$ 24.296                    |
| Contactores                | 1.9. 1A1         | Falta de energía de control en bobina de un contactor (24V).  | C          | 25%                 | 1,5                              | \$ 362.488          | \$ 137.343                     | \$ 90.622                    |
| Contactores                | 1.9. 1A2         | Ausencia de una de las fases.   | C          | 25%                 | 1,5                              | \$ 362.488          | \$ 137.343                     | \$ 90.622                    |
| Relés (Tarjeta de control) | 1.10. 1A1        | No recibe señal de los sensores de temperatura.   | C          | 25%                 | 1,5                              | \$ 1.000.000        | \$ 137.343                     | \$ 250.000                   |
| <b>TOTAL</b>               |                  |   |            |                     |                                  |                     | <b>\$ 6.500.902</b>            | <b>\$ 3.690.631</b>          |

Tabla 55: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 0, Compacto Morrison A320-1.



| Compacto Morrison A320-2   |                  |   |            |                     |                                  |                     |                                |                              |
|----------------------------|------------------|---|------------|---------------------|----------------------------------|---------------------|--------------------------------|------------------------------|
| Sub-Sistema o Componente   | N° Modo de Falla | Modo de Falla   | Criticidad | Frecuencia de Falla | Tiempo de Parada Simulador (hrs) | Costo de Reparación | Costo de Ineficiencia Esperado | Costo de Reparación Esperado |
| Filtros                    | 1.1. 1A1         | Filtro sucio.   | C          | 75%                 | 8                                | \$ 20.000           | \$ 2.197.488                   | \$ 15.000                    |
| Serpentín evaporador       | 1.2. 1A1         | Serpentín congelado o tapado.   | C          | 50%                 | 13                               | \$ 600.000          | \$ 2.380.612                   | \$ 300.000                   |
| Serpentín evaporador       | 1.2. 1A2         | Fuga de refrigerante.   | C          | 25%                 | 13                               | \$ 600.000          | \$ 1.190.306                   | \$ 150.000                   |
| Ventilador de impulsión    | 1.3. 1A1         | Contactador en falla.   | C          | 25%                 |                                  |                     | \$ -                           | \$ -                         |
| Ventilador de impulsión    | 1.3. 1A2         | Pérdida de aislación en bobinas de motor del ventilador.  | C          | 25%                 | 41                               | \$ 600.000          | \$ 3.754.042                   | \$ 150.000                   |
| Compresor                  | 1.4. 1A1         | Bajo voltaje por aumento de corriente.  | C          | 25%                 | 4                                | \$ 4.081.000        | \$ 366.248                     | \$ 1.020.250                 |
| Compresor                  | 1.4. 1A2         | Bobinas de compresor dañadas por sobre voltaje.   | C          | 25%                 | 12                               | \$ 4.081.000        | \$ 1.098.744                   | \$ 1.020.250                 |
| Compresor                  | 1.4. 1A3         | Sobrecalentamiento del compresor por falta de refrigerante.   | C          | 25%                 | 3                                |                     | \$ 274.686                     | \$ -                         |
| Ventiladores de condensado | 1.5. 1A1         | Contactador en falla.   | C          | 25%                 |                                  |                     | \$ -                           | \$ -                         |
| Ventiladores de condensado | 1.5. 1A2         | Embobinado de motor en cortocircuito.   | C          | 25%                 | 10                               | \$ 500.000          | \$ 915.620                     | \$ 125.000                   |
| Serpentín Condensador      | 1.6. 1A1         | Fuga de refrigerante.   | C          | 25%                 | 13                               | \$ 600.000          | \$ 1.190.306                   | \$ 150.000                   |
| Serpentín Condensador      | 1.6. 1A2         | Condensador obstruido.  | C          | 50%                 | 5                                | \$ 12.000           | \$ 915.620                     | \$ 6.000                     |
| Presostato de alta presión | 1.7. 1A1         | Sobrecalentamiento, pérdida de vida útil, problemas en el bi-metal, falta de señal de control 24V.      | C          | 25%                 | 7                                | \$ 1.000.000        | \$ 640.934                     | \$ 250.000                   |
| Presostato de baja presión | 1.8. 1A1         | Presostato descalibrado, pérdida de vida útil, problemas en el bi-metal, falta de señal de control 24V. | C          | 50%                 | 7                                | \$ 97.182           | \$ 1.281.868                   | \$ 48.591                    |
| Presostato de baja presión | 1.8. 1A2         | Cortocircuito en línea de alimentación.   | C          | 25%                 | 7                                | \$ 97.182           | \$ 640.934                     | \$ 24.296                    |
| Contactores                | 1.9. 1A1         | Falta de energía de control en bobina de un contactor (24V).  | C          | 25%                 | 11                               | \$ 362.488          | \$ 1.007.182                   | \$ 90.622                    |
| Contactores                | 1.9. 1A2         | Ausencia de una de las fases.   | C          | 25%                 | 11                               | \$ 362.488          | \$ 1.007.182                   | \$ 90.622                    |
| Relés (Tarjeta de control) | 1.10. 1A1        | No recibe señal de los sensores de temperatura.   | C          | 25%                 | 8                                | \$ 1.000.000        | \$ 732.496                     | \$ 250.000                   |
| <b>TOTAL</b>               |                  |   |            |                     |                                  |                     | <b>\$ 19.594.268</b>           | <b>\$ 3.690.631</b>          |

Tabla 56: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 0, Compacto Morrison A320-2.

| Compacto de Emergencia     |                  |   |            |                     |                                  |                     |                                |                              |
|----------------------------|------------------|---|------------|---------------------|----------------------------------|---------------------|--------------------------------|------------------------------|
| Sub-Sistema o Componente   | N° Modo de Falla | Modo de Falla   | Criticidad | Frecuencia de Falla | Tiempo de Parada Simulador (hrs) | Costo de Reparación | Costo de Ineficiencia Esperado | Costo de Reparación Esperado |
| Filtros                    | 1.1. 1A1         | Filtro sucio.   | C          | 75%                 | -                                | \$ 60.000           | \$ -                           | \$ 45.000                    |
| Serpentín evaporador       | 1.2. 1A1         | Serpentín congelado o tapado.   | C          | 50%                 | -                                | \$ 70.200           | \$ -                           | \$ 35.100                    |
| Serpentín evaporador       | 1.2. 1A2         | Fuga de refrigerante.   | C          | 25%                 | -                                | \$ 600.000          | \$ -                           | \$ 150.000                   |
| Ventilador de impulsión    | 1.3. 1A1         | Contactora en falla.  | C          | 50%                 | -                                |                     | \$ -                           | \$ -                         |
| Ventilador de impulsión    | 1.3. 1A2         | Pérdida de aislación en bobinas de motor del ventilador.  | C          | 25%                 | -                                | \$ 300.000          | \$ -                           | \$ 75.000                    |
| Compresor                  | 1.4. 1A1         | Bajo voltaje por aumento de corriente.  | C          | 25%                 | -                                | \$ 4.081.792        | \$ -                           | \$ 1.020.448                 |
| Compresor                  | 1.4. 1A2         | Bobinas de compresor dañadas por sobre voltaje.   | C          | 25%                 | -                                | \$ 4.081.792        | \$ -                           | \$ 1.020.448                 |
| Compresor                  | 1.4. 1A3         | Sobrecalentamiento del compresor por falta de refrigerante.   | C          | 25%                 | -                                |                     | \$ -                           | \$ -                         |
| Ventiladores de condensado | 1.5. 1A1         | Contactora en falla.  | C          | 25%                 | -                                |                     | \$ -                           | \$ -                         |
| Ventiladores de condensado | 1.5. 1A2         | Embobinado de motor en cortocircuito.   | C          | 25%                 | -                                | \$ 250.000          | \$ -                           | \$ 62.500                    |
| Serpentín Condensador      | 1.6. 1A1         | Fuga de refrigerante.   | C          | 25%                 | -                                | \$ 600.000          | \$ -                           | \$ 150.000                   |
| Serpentín Condensador      | 1.6. 1A2         | Condensador obstruido.  | SC         | 50%                 | -                                | \$ 12.000           | \$ -                           | \$ 6.000                     |
| Presostato de alta presión | 1.7. 1A1         | Sobrecalentamiento, pérdida de vida útil, problemas en el bi-metal, falta de señal de control 24V.      | C          | 25%                 | -                                | \$ 1.000.000        | \$ -                           | \$ 250.000                   |
| Presostato de baja presión | 1.8. 1A1         | Presostato descalibrado, pérdida de vida útil, problemas en el bi-metal, falta de señal de control 24V. | C          | 50%                 | -                                | \$ 167.000          | \$ -                           | \$ 83.500                    |
| Presostato de baja presión | 1.8. 1A2         | Cortocircuito en línea de alimentación.   | C          | 25%                 | -                                | \$ 167.000          | \$ -                           | \$ 41.750                    |
| Contactores                | 1.9. 1A1         | Falta de energía de control en bobina de un contactor (24V).  | C          | 25%                 | -                                | \$ 362.418          | \$ -                           | \$ 90.605                    |
| Contactores                | 1.9. 1A2         | Ausencia de una de las fases.   | C          | 25%                 | -                                | \$ 362.418          | \$ -                           | \$ 90.605                    |
| Termostato ambiente        | 1.10. 1A1        | No recibe señal de los sensores de temperatura.   | SC         | 25%                 | -                                | \$ 40.000           | \$ -                           | \$ 10.000                    |
| <b>TOTAL</b>               |                  |   |            |                     |                                  |                     | \$ -                           | \$ 3.130.955                 |

Tabla 57: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 0, Compacto de Emergencia.

| Compactos Salas HPU y Bahías |                  |  |            |                     |                                  |                     |                                |                              |
|------------------------------|------------------|--|------------|---------------------|----------------------------------|---------------------|--------------------------------|------------------------------|
| Sub-Sistema o Componente     | N° Modo de Falla | Modo de Falla  | Criticidad | Frecuencia de Falla | Tiempo de Parada Simulador (hrs) | Costo de Reparación | Costo de Ineficiencia Esperado | Costo de Reparación Esperado |
| Termostato ambiente          | 1.1. 1A1         | Falta de energía en bobina de un contactor.  | NC         | 25%                 | -                                | \$ 40.000           | \$ -                           | 0                            |
| Filtros                      | 1.2. 1A1         | Filtro sucio.  | SC         | 75%                 | -                                | \$ 19.125           | \$ -                           | \$ 14.343,75                 |
| Serpentín evaporador         | 1.3. 1A1         | Serpentín congelado.   | NC         | 50%                 | -                                | \$ 70.200           | \$ -                           | 0                            |
| Serpentín evaporador         | 1.3. 1A2         | Fuga de refrigerante.  | SC         | 25%                 | -                                | \$ 540.000          | \$ -                           | \$ 135.000,00                |
| Ventilador de impulsión      | 1.4. 1A1         | Falta de energía de control en bobina de contactor.                                  | SC         | 50%                 | -                                | \$ 300.000          | \$ -                           | \$ 150.000,00                |
| Ventilador de impulsión      | 1.4. 1A2         | Motor de ventilador en falla.  | NC         | 25%                 | -                                | \$ 300.000          | \$ -                           | 0                            |
| Ventilador de impulsión      | 1.4. 1A3         | Correa de ventilador cortada.  | SC         | 50%                 | -                                | \$ 22.000           | \$ -                           | \$ 11.000,00                 |
| Compresores                  | 1.5. 1A1         | Bajo voltaje por aumento de corriente, calentamiento o daño en aislación de bobinas. | C          | 25%                 | -                                | \$ 1.637.686        | \$ -                           | \$ 409.421,50                |
| Compresores                  | 1.5. 1A2         | Sobrecalentamiento del compresor por falta de refrigerante.                          | C          | 25%                 | -                                | \$ 70.200           | \$ -                           | \$ 17.550,00                 |
| Ventilador de condensado     | 1.6. 1A1         | Contacto en falla por falta de energía de control en bobina de contactor.            | SC         | 50%                 | -                                | \$ 250.000          | \$ -                           | \$ 125.000,00                |
| Serpentín condensador        | 1.7. 1A1         | Fuga de refrigerante.  | NC         | 25%                 | -                                | \$ 540.000          | \$ -                           | 0                            |
| Serpentín condensador        | 1.7. 1A2         | Condensador obstruido.   | SC         | 50%                 | -                                | \$ 12.000           | \$ -                           | \$ 6.000,00                  |
| Presostato de alta presión   | 1.8. 1A1         | Sobrecalentamiento.  | C          | 25%                 | -                                | \$ 284.968          | \$ -                           | \$ 71.242,00                 |
| Presostato de baja presión   | 1.9. 1A1         | Fuga de refrigerante.  | C          | 25%                 | -                                | \$ 167.039          | \$ -                           | \$ 41.759,75                 |
| Contactores                  | 1.10. 1A1        | Falta de energía de control en bobina de contactor.                                  | SC         | 50%                 | -                                | \$ 202.141          | \$ -                           | \$ 101.070,50                |
| Contactores                  | 1.10. 1A2        | Ausencia de una de las fases.  | NC         | 33%                 | -                                | \$ 39.000           | \$ -                           | 0                            |
| Contactores                  | 1.10. 1A3        | Caída del automático del equipo.   | SC         | 50%                 | -                                | \$ 25.000           | \$ -                           | \$ 12.500,00                 |
| <b>TOTAL</b>                 |                  |  |            |                     |                                  |                     | \$ -                           | \$ <b>1.094.887,50</b>       |

Tabla 58: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 0, Compactos bahías y salas HPU.

| Torres Enfriamiento              |                  |  |            |                     |                                  |                     |                                |                              |
|----------------------------------|------------------|--|------------|---------------------|----------------------------------|---------------------|--------------------------------|------------------------------|
| Sub-Sistema o Componente         | N° Modo de Falla | Modo de Falla  | Criticidad | Frecuencia de Falla | Tiempo de Parada Simulador (hrs) | Costo de Reparación | Costo de Ineficiencia Esperado | Costo de Reparación Esperado |
| Contactores                      | 1.1. 1A1         | Falta de energía de control en bobina de un contactor.                                   | C          | 50%                 | 7,00                             | \$ 130.000          | \$ 1.281.868                   | \$ 65.000                    |
| Contactores                      | 1.1. 1A2         | Ausencia de una de las fases.  |            | 33%                 | 6,00                             | \$ 39.000           | \$ 725.171                     | \$ 12.870                    |
| Contactores                      | 1.1. 1A3         | Caída del automático por ausencia de 380V, exceso de corriente o aumento de temperatura. | C          | 50%                 | 6,00                             | \$ 300.000          | \$ 1.098.744                   | \$ 150.000                   |
| Filtros de agua                  | 1.2. 1A1         | Filtro sucio.  | SC         | 50%                 | 7,00                             | \$ 65.000           | \$ 1.281.868                   | \$ 32.500                    |
| Ventilador torre de enfriamiento | 1.3. 1A1         | Contactor en falla por falta de energía de control en bobina de contactor.               | -          | 50%                 |                                  | \$ -                | \$ -                           | \$ -                         |
| Ventilador torre de enfriamiento | 1.3. 1A2         | Motor de ventilador en falla.  | C          | 25%                 | 18,00                            | \$ 300.000          | \$ 1.648.116                   | \$ 75.000                    |
| Bombas de agua                   | 1.4. 1A1         | Contactor en falla por falta de energía de control en bobina de contactor (220V).        | C          | 50%                 | 1,50                             | \$ -                | \$ 274.686                     | \$ -                         |
| Bombas de agua                   | 1.4. 1A2         | Motor de la bomba en falla.  | C          | 25%                 | 1,50                             | \$ 700.000          | \$ 137.343                     | \$ 175.000                   |
| Cañerías y llaves de agua        | 1.5. 1A1         | Llaves de agua cerradas.   | C          | 20%                 | 10,00                            | \$ 450.000          | \$ 732.496                     | \$ 90.000                    |
| Cañerías y llaves de agua        | 1.5. 1A2         | Deterioro de cañerías y llaves.  | C          | 30%                 | 10,00                            | \$ -                | \$ 1.098.744                   | \$ -                         |
| <b>TOTAL</b>                     |                  |  |            |                     | -                                |                     | <b>\$ 7.180.292</b>            | <b>\$ 600.370</b>            |

Tabla 59: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 0, Torres de enfriamiento.

| E. Precisión A320-1                            |                  |   |            |                     |                                  |                     |                                |                              |
|--|------------------|---|------------|---------------------|----------------------------------|---------------------|--------------------------------|------------------------------|
| Sub-Sistema o Componente                       | N° Modo de Falla | Modo de Falla   | Criticidad | Frecuencia de Falla | Tiempo de Parada Simulador (hrs) | Costo de Reparación | Costo de Ineficiencia Esperado | Costo de Reparación Esperado |
| Contactores del ventilador de impulsión        | 11A1             | Cortocircuito en bobinas del contactor del ventilador de impulsión.         | NC         | 15%                 | 4,00                             | \$ 202.141          | 0                              | 0                            |
| Motor del ventilador de impulsión              | 11A2             | Cortocircuito en bobinas del motor del ventilador de impulsión.             | SC         | 15%                 | 4,00                             | \$ 600.000          | \$ 219.749                     | \$ 90.000                    |
| Contactores del ventilador de impulsión        | 11A3             | Ausencia de señal de control (24V) en contactor de ventilador de impulsión. | C          | 30%                 | 3,00                             | \$ 3.000.000        | \$ 329.623                     | \$ 900.000                   |
| Fusible de control del ventilador de impulsión | 11A4             | Fusible de control del ventilador de impulsión quemado.                     | NC         | 30%                 | -                                | \$ 3.000            | 0                              | 0                            |
| Flow switch                                    | 11A5             | Flow switch descalibrado.   | NC         | 10%                 | 3,00                             | \$ 150.000          | 0                              | 0                            |
| Flow switch                                    | 11A6             | Flow switch sucio.  | NC         | 10%                 | -                                | \$ -                | 0                              | 0                            |
| Tarjeta de control                             | 11A7             | Punto del ventilador de impulsión en tarjeta de control quemado.            | C          | 10%                 | 6,00                             | \$ 3.000.000        | \$ 219.749                     | \$ 300.000                   |
| Correa del ventilador de impulsión             | 11A8             | Correa del ventilador de impulsión cortada.                                 | NC         | 10%                 | -                                | \$ 12.000           | 0                              | 0                            |
| Contactores del compresor                      | 11B1             | Bobina de contactor del compresor en cortocircuito.                         | NC         | 10%                 | 4,00                             | \$ 213.886          | 0                              | 0                            |
| Serpentín condensador                          | 11B2             | Serpentín de condensador sucio.   | NC         | 30%                 | 2,00                             | \$ 12.000           | 0                              | 0                            |
| Contactador ventilador de condensado           | 11B3             | Bobina de contactor de ventilador de condensado quemada.                    | NC         | 10%                 | 4,00                             | \$ 206.910          | 0                              | 0                            |
| Contactador ventilador de condensado           | 11B4             | Bobina de motor de ventilador de condensado quemada.                        | SC         | 30%                 | 6,00                             | \$ 450.000          | \$ 659.246                     | \$ 135.000                   |
| Circuito de refrigeración                      | 11B5             | Fuga de refrigerante.   | C          | 60%                 | 10,00                            | \$ 1.000.000        | \$ 2.197.488                   | \$ 600.000                   |
| Tarjeta de control                             | 11B6             | Punto de tarjeta de control del compresor quemado.                          | C          | 10%                 | 6,00                             | \$ 3.000.000        | \$ 219.749                     | \$ 300.000                   |
| Tarjeta de control                             | 11B7             | Fusible de control del compresor quemado.                                   | C          | 10%                 | -                                | \$ 3.000            | \$ -                           | \$ 300                       |
| Correas del ventilador de impulsión            | 11C1             | Correas del ventilador de impulsión sueltas                                 | NC         | 40%                 | -                                | \$ -                | 0                              | 0                            |
| Filtro   | 11C2             | Filtro sucio.   | SC         | 50%                 | 5,00                             | \$ 55.000           | \$ 915.620                     | \$ 27.500                    |
| Serpentín evaporador                           | 11C3             | Serpentín del evaporador sucio.   | NC         | 40%                 | -                                | \$ -                | 0                              | 0                            |
| <b>TOTAL</b>                                   |                  |   |            |                     |                                  |                     | <b>\$ 4.761.224</b>            | <b>\$ 2.352.800</b>          |

Tabla 60: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 0, Equipo de Precisión A320-1.

| E. Precisión A320-2                            |                  |   |            |                     |                                  |                     |                                |                              |
|--|------------------|---|------------|---------------------|----------------------------------|---------------------|--------------------------------|------------------------------|
| Sub-Sistema o Componente                       | N° Modo de Falla | Modo de Falla   | Criticidad | Frecuencia de Falla | Tiempo de Parada Simulador (hrs) | Costo de Reparación | Costo de Ineficiencia Esperado | Costo de Reparación Esperado |
| Contactores del ventilador de impulsión        | 11A1             | Cortocircuito en bobinas del contactor del ventilador de impulsión.         | NC         | 15%                 | 4,00                             | \$ 202.141          | 0                              | 0                            |
| Motor del ventilador de impulsión              | 11A2             | Cortocircuito en bobinas del motor del ventilador de impulsión.             | SC         | 15%                 | 4,00                             | \$ 600.000          | \$ 219.749                     | \$ 90.000                    |
| Contactores del ventilador de impulsión        | 11A3             | Ausencia de señal de control (24V) en contactor de ventilador de impulsión. | C          | 30%                 | 3,00                             | \$ 3.000.000        | \$ 329.623                     | \$ 900.000                   |
| Fusible de control del ventilador de impulsión | 11A4             | Fusible de control del ventilador de impulsión quemado.                     | NC         | 30%                 | -                                | \$ 3.000            | 0                              | 0                            |
| Flow switch                                    | 11A5             | Flow switch descalibrado.   | NC         | 10%                 | 3,00                             | \$ 150.000          | 0                              | 0                            |
| Flow switch                                    | 11A6             | Flow switch sucio.  | NC         | 10%                 | -                                | \$ -                | 0                              | 0                            |
| Tarjeta de control                             | 11A7             | Punto del ventilador de impulsión en tarjeta de control quemado.            | C          | 10%                 | 6,00                             | \$ 3.000.000        | \$ 219.749                     | \$ 300.000                   |
| Contactores del compresor                      | 11B1             | Bobina de contactor del compresor en cortocircuito.                         | NC         | 10%                 | 4,00                             | \$ 213.886          | 0                              | 0                            |
| Serpentín condensador                          | 11B2             | Serpentín de condensador sucio.   | NC         | 30%                 | 2,00                             | \$ 12.000           | 0                              | 0                            |
| Contactador ventilador de condensado           | 11B3             | Bobina de contactor de ventilador de condensado quemada.                    | NC         | 10%                 | 4,00                             | \$ 206.910          | 0                              | 0                            |
| Contactador ventilador de condensado           | 11B4             | Bobina de motor de ventilador de condensado quemada.                        | SC         | 30%                 | 6,00                             | \$ 450.000          | \$ 659.246                     | \$ 135.000                   |
| Circuito de refrigeración                      | 11B5             | Fuga de refrigerante.   | C          | 60%                 | 10,00                            | \$ 1.000.000        | \$ 2.197.488                   | \$ 600.000                   |
| Tarjeta de control                             | 11B6             | Punto de tarjeta de control del compresor quemado.                          | C          | 10%                 | 6,00                             | \$ 3.000.000        | \$ 219.749                     | \$ 300.000                   |
| Tarjeta de control                             | 11B7             | Fusible de control del compresor quemado.                                   | C          | 10%                 | -                                | \$ 3.000            | \$ -                           | \$ 300                       |
| Filtros  | 11C1             | Filtro sucio.   | SC         | 50%                 | 5,00                             | \$ 55.000           | \$ 915.620                     | \$ 27.500                    |
| Serpentín evaporador                           | 11C2             | Serpentín del evaporador sucio.   | NC         | 40%                 | -                                | \$ -                | 0                              | 0                            |
| <b>TOTAL</b>                                   |                  |   |            |                     |                                  |                     | <b>\$ 4.761.224</b>            | <b>\$ 2.352.800</b>          |

Tabla 61: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 0, Equipo de Precisión A320-2.

| E. de Precisión B787                           |                  |   |            |                     |                                  |                     |                                |                              |
|--|------------------|---|------------|---------------------|----------------------------------|---------------------|--------------------------------|------------------------------|
| Sub-Sistema o Componente                       | N° Modo de Falla | Modo de Falla   | Criticidad | Frecuencia de Falla | Tiempo de Parada Simulador (hrs) | Costo de Reparación | Costo de Ineficiencia Esperado | Costo de Reparación Esperado |
| Contactores del ventilador de impulsión        | 11A1             | Cortocircuito en bobinas del contactor del ventilador de impulsión.         | NC         | 15%                 | 4,00                             | \$ 202.141          | 0                              | 0                            |
| Motor del ventilador de impulsión              | 11A2             | Cortocircuito en bobinas del motor del ventilador de impulsión.             | SC         | 15%                 | 4,00                             | \$ 600.000          | \$ 219.749                     | \$ 90.000                    |
| Contactores del ventilador de impulsión        | 11A3             | Ausencia de señal de control (24V) en contactor de ventilador de impulsión. | C          | 30%                 | 3,00                             | \$ 3.000.000        | \$ 329.623                     | \$ 900.000                   |
| Fusible de control del ventilador de impulsión | 11A4             | Fusible de control del ventilador de impulsión quemado.                     | NC         | 30%                 |                                  | \$ 3.000            | 0                              | 0                            |
| Flow switch                                    | 11A5             | Flow switch descalibrado.   | NC         | 10%                 | 3,00                             | \$ 150.000          | 0                              | 0                            |
| Flow switch                                    | 11A6             | Flow switch sucio.  | NC         | 10%                 | -                                | \$ -                | 0                              | 0                            |
| Tarjeta de control                             | 11A7             | Punto del ventilador de impulsión en tarjeta de control quemado.            | C          | 10%                 | 6,00                             | \$ 3.000.000        | \$ 219.749                     | \$ 300.000                   |
| Variador de frecuencia                         | 11A8             | Falta de voltaje de control en variado                                      | NC         | 10%                 | 2,00                             | 27000               | 0                              | 0                            |
| Contactores del compresor                      | 11B1             | Bobina de contactor del compresor en cortocircuito.                         | NC         | 10%                 | 4,00                             | \$ 213.886          | 0                              | 0                            |
| Serpentín condensador                          | 11B2             | Serpentín de condensador sucio.   | NC         | 30%                 | 2,00                             | \$ 12.000           | 0                              | 0                            |
| Contactador ventilador de condensado           | 11B3             | Bobina de contactor de ventilador de condensado quemada.                    | NC         | 10%                 | 4,00                             | \$ 206.910          | 0                              | 0                            |
| Contactador ventilador de condensado           | 11B4             | Bobina de motor de ventilador de condensado quemada.                        | SC         | 30%                 | 6,00                             | \$ 450.000          | \$ 659.246                     | \$ 135.000                   |
| Circuito de refrigeración                      | 11B5             | Fuga de refrigerante.   | C          | 60%                 | 10,00                            | \$ 1.000.000        | \$ 2.197.488                   | \$ 600.000                   |
| Tarjeta de control                             | 11B6             | Punto de tarjeta de control del compresor quemado.                          | C          | 10%                 | 6,00                             | \$ 3.000.000        | \$ 219.749                     | \$ 300.000                   |
| Tarjeta de control                             | 11B7             | Fusible de control del compresor quemado.                                   | C          | 10%                 | -                                | \$ 3.000            | \$ -                           | \$ 300                       |
| Filtros  | 11C1             | Filtro sucio.   | SC         | 50%                 | 5,00                             | \$ 55.000           | \$ 915.620                     | \$ 27.500                    |
| Serpentín evaporador                           | 11C2             | Serpentín del evaporador sucio.   | NC         | 40%                 | 5,00                             | \$ -                | 0                              | 0                            |
| <b>TOTAL</b>                                   |                  |   |            |                     |                                  |                     | <b>\$ 4.761.224</b>            | <b>\$ 2.352.800</b>          |

Tabla 62: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 0, Equipo de Precisión B787.

| Chiller B787                       |                  |  |            |                     |                                  |                     |                                |                              |
|------------------------------------|------------------|--|------------|---------------------|----------------------------------|---------------------|--------------------------------|------------------------------|
| Sub-Sistema o Componente           | N° Modo de Falla | Modo de Falla  | Criticidad | Frecuencia de Falla | Tiempo de Parada Simulador (hrs) | Costo de Reparación | Costo de Ineficiencia Esperado | Costo de Reparación Esperado |
| Compresores                        | 1.1. 1A1         | Bobina de compresor quemada.   | C          | 25%                 | 1                                | \$ 5.153.000        | \$ 91.562                      | \$ 1.288.250                 |
| Compresores                        | 1.1. 1A2         | Pérdida de rendimiento del compresor.  | C          | 20%                 | 1                                | \$ 5.153.000        | \$ 73.250                      | \$ 1.030.600                 |
| Contactores de compresores         | 1.2. 1A1         | Pérdida de señal de control.   | C          | 13%                 | 1                                | \$ 1.713.886        | \$ 47.612                      | \$ 222.805                   |
| Contactores de compresores         | 1.2. 1A2         | Falta de reapriete de borneras.  | SC         | 20%                 | 1                                | \$ 3.643.964        | \$ 73.250                      | \$ 728.793                   |
| Contactores de compresores         | 1.2. 1A3         | Desgaste mecánico del contactor del compresor.   | SC         | 20%                 | 1                                | \$ 213.886          | \$ 73.250                      | \$ 42.777                    |
| Contactores de compresores         | 1.2. 1A4         | Contactador funcionando a dos fases.   | SC         | 15%                 | 1                                | \$ 213.886          | \$ 54.937                      | \$ 32.083                    |
| Contactador ventilador condensador | 1.3. 1A1         | Falla de punto en tarjeta de control.  | C          | 13%                 | 1                                | \$ 206.910          | \$ 47.612                      | \$ 26.898                    |
| Contactador ventilador condensador | 1.3. 1A2         | Motor de ventilador quemado.   | SC         | 20%                 | 1                                | \$ 450.000          | \$ 73.250                      | \$ 90.000                    |
| Contactador ventilador condensador | 1.3. 1A3         | Bobina de contactor quemada.   | SC         | 20%                 | 1                                | \$ 206.910          | \$ 73.250                      | \$ 41.382                    |
| Contactador ventilador condensador | 1.3. 1A4         | Desgaste mecánico del contactor del ventilador condensador.  | SC         | 20%                 | 1                                | \$ 206.910          | \$ 73.250                      | \$ 41.382                    |
| Contactador bomba de agua          | 1.4. 1A1         | Falla en punto de tarjeta de control.  | C          | 13%                 | 1                                | \$ 1.500.000        | \$ 47.612                      | \$ 195.000                   |
| Contactador bomba de agua          | 1.4. 1A2         | Motor de bomba trabado por acumulación de óxido o sarro.   | NC         | 15%                 | 1                                | \$ 450.000          | 0                              | 0                            |
| Contactador bomba de agua          | 1.4. 1A3         | Motor de bomba trabado por acoplamiento interno mal ajustado.  | C          | 50%                 | 1                                | \$ 450.000          | \$ 183.124                     | \$ 225.000                   |
| Contactador bomba de agua          | 1.4. 1A4         | Motor de bomba quemado por alta tensión exterior.  | C          | 50%                 | 1                                | \$ 450.000          | \$ 183.124                     | \$ 225.000                   |
| Contactador bomba de agua          | 1.4. 1A5         | Motor de bomba quemado por trabajar en vacío (dado que alguna de las válvulas se encuentra cerrada). | C          | 50%                 | 1                                | \$ 450.000          | \$ 183.124                     | \$ 225.000                   |
| Contactador bomba de agua          | 1.4. 1A6         | Motor de bomba quemado dado que el sistema se encuentra sin agua.                                    | C          | 50%                 | 1                                | \$ 450.000          | \$ 183.124                     | \$ 225.000                   |
| Contactador bomba de agua          | 1.4. 1A7         | Falta de fase en tablero de control (fuerza) del Chiller.  | C          | 33%                 | 1                                |                     | \$ 120.862                     | \$ -                         |
| Contactador bomba de agua          | 1.4. 1A8         | Falta de fase externa al Chiller.  | C          | 33%                 | 1                                |                     | \$ 120.862                     | \$ -                         |

Tabla 63: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 0, Chiller B787 parte 1.



| Chiller B787                              |                  |   |            |                     |                                  |                     |                                |                              |
|---|------------------|---|------------|---------------------|----------------------------------|---------------------|--------------------------------|------------------------------|
| Sub-Sistema o Componente                  | N° Modo de Falla | Modo de Falla   | Criticidad | Frecuencia de Falla | Tiempo de Parada Simulador (hrs) | Costo de Reparación | Costo de Ineficiencia Esperado | Costo de Reparación Esperado |
| Tarjeta de control                        | 1.5. 1A1         | Fuga de gas refrigerante genera ausencia de señal de presostato de baja presión.    | C          | 33%                 | 1                                | \$ 1.000.000        | \$ 120.862                     | \$ 330.000                   |
| Tarjeta de control                        | 1.5. 1A2         | Fuga de aceite y gas refrigerante genera ausencia de señal de presostato de aceite. | C          | 33%                 | 1                                | \$ 1.000.000        | \$ 120.862                     | \$ 330.000                   |
| Presostato de alta y baja presión         | 1.6. 1A1         | Presostatos mal calibrados, en corte o desconectados.                               | C          | 33%                 | 1                                | \$ 62.273           | \$ 120.862                     | \$ 20.550                    |
| Presostato de aceite                      | 1.7. 1A1         | Presostatos mal calibrados, en corte o desconectados.                               | C          | 25%                 | 1                                | \$ 316.716          | \$ 91.562                      | \$ 79.179                    |
| Flow switch                               | 1.8. 1A1         | No hay circulación de agua.   | SC         | 25%                 | 1                                | \$ 400.000          | \$ 91.562                      | \$ 100.000                   |
| Flow switch                               | 1.8. 1A2         | Flow switch pegado o aleta de flow switch en mal estado.                            | SC         | 30%                 | 1                                | \$ 150.000          | \$ 109.874                     | \$ 45.000                    |
| Manómetros                                | 1.9. 1A1         | Manómetro descalibrado.   | NC         | 15%                 | 1                                | \$ 50.000           | 0                              | 0                            |
| Termómetros digital y análogo             | 1.10. 1A1        | Termómetro descalibrado.  | SC         | 10%                 | 1                                | \$ 40.000           | \$ 36.625                      | \$ 4.000                     |
| Ventilador condensador                    | 1.11. 1A1        | Falta de energía de fuerza en contactor de ventilador.                              | SC         | 35%                 | 1                                | \$ 246.223          | \$ 128.187                     | \$ 86.178                    |
| Ventilador condensador                    | 1.11. 1A2        | Falta de energía de control en bobina de contactor.                                 | SC         | 35%                 | 1                                | \$ 27.150           | \$ 128.187                     | \$ 9.503                     |
| Ventilador condensador                    | 1.11. 1A3        | Aspas sueltas, fuera de su lugar o rotas.   | C          | 15%                 | 1                                | \$ 1.944.951        | \$ 54.937                      | \$ 291.743                   |
| Serpentín                                 | 1.12. 1A1        | Serpentín sucio.  | SC         | 35%                 | 1                                | \$ 12.000           | \$ 128.187                     | \$ 4.200                     |
| Resistencia cárter                        | 1.13. 1A1        | Resistencia de cárter dañada.   | SC         | 10%                 | 1                                | \$ 537.650          | \$ 36.625                      | \$ 53.765                    |
| Separador de líquido                      | 1.14. 1A1        | Rotura interna de válvula de expansión.   | SC         | 15%                 | 1                                | \$ 192.116          | \$ 54.937                      | \$ 28.817                    |
| Válvula de servicio y succión de descarga | 1.15. 1A1        | Rotura interna de válvula o con restos de escoria.                                  | NC         | 20%                 | 1                                | \$ 192.116          | 0                              | 0                            |
| Estanque de expansión                     | 1.16. 1A1        | Membrana rota o con poco aire.  | NC         | 10%                 | 1                                | \$ 40.000           | 0                              | 0                            |
| <b>TOTAL</b>                              |                  |   |            |                     |                                  |                     | <b>\$ 1.223.268</b>            | <b>\$ 1.382.935</b>          |

Tabla 64: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 0, Chiller B787 parte 2.

| UMA Morrison B787                   |                  |   |            |                     |                                  |                     |                                |                              |
|-------------------------------------|------------------|---|------------|---------------------|----------------------------------|---------------------|--------------------------------|------------------------------|
| Sub-Sistema o Componente            | N° Modo de Falla | Modo de Falla   | Criticidad | Frecuencia de Falla | Tiempo de Parada Simulador (hrs) | Costo de Reparación | Costo de Ineficiencia Esperado | Costo de Reparación Esperado |
| Contactador ventilador de impulsión | 1.1. 1A1         | Falta de energía de control en bobina de un contactor (24 V). | C          | 20%                 | 11                               | \$ 202.141          | \$ 805.746                     | \$ 40.428                    |
| Contactador ventilador de impulsión | 1.1. 1A2         | Ausencia de una de las fases.                                 | C          | 33%                 | 11                               | \$ 202.141          | \$ 1.329.480                   | \$ 66.707                    |
| Relés de control                    | 1.2. 1A1         | No recibe la señal del sensor de temperatura TE150.           | C          | 25%                 | 8                                | \$ 202.141          | \$ 732.496                     | \$ 50.535                    |
| Relés de control                    | 1.2. 2A1         | No recibe señal del sensor de temperatura.                    | SC         | 25%                 | 8                                | \$ 79.810           | \$ 732.496                     | \$ 19.953                    |
| Filtros                             | 1.3. 1A1         | Filtro sucio.   | C          | 75%                 | 8                                | \$ 60.000           | \$ 2.197.488                   | \$ 45.000                    |
| Serpentín de agua fría              | 1.4. 1A1         | Serpentín con aire en su interior.                            | SC         | 15%                 | 13                               |                     | \$ 714.184                     | \$ -                         |
| Serpentín de agua fría              | 1.4. 1A2         | Válvula de agua cerrada.                                      | SC         | 15%                 | 13                               | \$ 190.000          | \$ 714.184                     | \$ 28.500                    |
| Ventilador de impulsión             | 1.5. 1A1         | Contactador no acciona.                                       | C          | 50%                 |                                  | \$ 202.141          | \$ -                           | \$ 101.071                   |
| Ventilador de impulsión             | 1.5. 1A2         | Falla en bobinas de motor del ventilador.                     | C          | 25%                 | 41                               | \$ 600.000          | \$ 3.754.042                   | \$ 150.000                   |
| <b>TOTAL</b>                        |                  |   |            |                     |                                  |                     | <b>\$ 10.980.115</b>           | <b>\$ 502.193</b>            |

Tabla 65: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 0, UMA Morrison B787.

### 9.3.2. Costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 1.

Esta alternativa contempla:

- Implementar las tareas de mantenimiento.
- Reemplazar serpentín evaporador de compacto Morrison A320-1.
- Homologar eléctricamente compacto Morrison A320-1.

En la Tabla 66 se presenta el resumen de los costos de ineficiencia y reparación estimados para la alternativa 1. En las Tablas 67 a 77 se presenta el detalle de los costos de ineficiencia y reparación para cada modo de falla.

| Equipo                                 | Costo Ineficiencia Esperado | Costo Reparación Esperado | Total                |
|--|-----------------------------|---------------------------|----------------------|
| Compacto Morrison A3201                | \$ 1.501.617                | \$ 1.195.711              | \$ 2.697.328         |
| Compacto Morrison A3202                | \$ 3.580.074                | \$ 1.405.711              | \$ 4.985.786         |
| Compacto de Emergencia A320-1          | \$ -                        | \$ 1.242.842              | \$ 1.242.842         |
| Compactos Salas HPU y Bahías           | \$ -                        | \$ 1.869.098              | \$ 1.869.098         |
| Equipo de Precisión A320-1             | \$ -                        | \$ 450                    | \$ 450               |
| Torres de Enfriamiento A320-1 y A320-2 | \$ 5.136.628                | \$ 688.800                | \$ 5.825.428         |
| Chiller B787                           | \$ 146.499                  | \$ 48.726                 | \$ 195.225           |
| UMA Morrison B787                      | \$ 183.124                  | \$ 20.214                 | \$ 203.338           |
| <b>TOTAL</b>                           | <b>\$ 10.547.942</b>        | <b>\$ 6.471.553</b>       | <b>\$ 17.019.495</b> |

Tabla 66: Resumen de costos de ineficiencia y reparación estimados para alternativa 1.

| Compacto Morrison A320-1   |                  |   |            |                     |                                  |                     |                                |                              |
|----------------------------|------------------|---|------------|---------------------|----------------------------------|---------------------|--------------------------------|------------------------------|
| Sub-Sistema o Componente   | N° Modo de Falla | Modo de Falla   | Criticidad | Frecuencia de Falla | Tiempo de Parada Simulador (hrs) | Costo de Reparación | Costo de Ineficiencia Esperado | Costo de Reparación Esperado |
| Filtros                    | 1.1. 1A1         | Filtro sucio.   | C          | 0%                  | 1,5                              | \$ 20.000           | \$ -                           | \$ -                         |
| Serpentín evaporador       | 1.2. 1A1         | Serpentín congelado o tapado.   | C          | 0%                  | 1,5                              | \$ 600.000          | \$ -                           | \$ -                         |
| Serpentín evaporador       | 1.2. 1A2         | Fuga de refrigerante.   | C          | 0%                  | 1,5                              | \$ 600.000          | \$ -                           | \$ -                         |
| Ventilador de impulsión    | 1.3. 1A1         | Contactador en falla.   | C          | 10%                 |                                  |                     | \$ -                           | \$ -                         |
| Ventilador de impulsión    | 1.3. 1A2         | Pérdida de aislación en bobinas de motor del ventilador.  | C          | 10%                 | 20                               | \$ 600.000          | \$ 732.496                     | \$ 60.000                    |
| Compresor                  | 1.4. 1A1         | Bajo voltaje por aumento de corriente.  | C          | 10%                 | 1,5                              | \$ 4.081.000        | \$ 54.937                      | \$ 408.100                   |
| Compresor                  | 1.4. 1A2         | Bobinas de compresor dañadas por sobre voltaje.   | C          | 10%                 | 1,5                              | \$ 4.081.000        | \$ 54.937                      | \$ 408.100                   |
| Compresor                  | 1.4. 1A3         | Sobrecalentamiento del compresor por falta de refrigerante.   | C          | 10%                 | 1,5                              |                     | \$ 54.937                      | \$ -                         |
| Ventiladores de condensado | 1.5. 1A1         | Contactador en falla.   | C          | 10%                 |                                  |                     | \$ -                           | \$ -                         |
| Ventiladores de condensado | 1.5. 1A2         | Embobinado de motor en cortocircuito.   | C          | 10%                 | 1,5                              | \$ 500.000          | \$ 54.937                      | \$ 50.000                    |
| Serpentín Condensador      | 1.6. 1A1         | Fuga de refrigerante.   | C          | 10%                 | 1,5                              | \$ 600.000          | \$ 54.937                      | \$ 60.000                    |
| Serpentín Condensador      | 1.6. 1A2         | Condensador obstruido.  | C          | 25%                 | 1,5                              | \$ 12.000           | \$ 137.343                     | \$ 3.000                     |
| Presostato de alta presión | 1.7. 1A1         | Sobrecalentamiento, pérdida de vida útil, problemas en el bi-metal, falta de señal de control 24V.      | C          | 10%                 | 1,5                              | \$ 1.000.000        | \$ 54.937                      | \$ 100.000                   |
| Presostato de baja presión | 1.8. 1A1         | Presostato descalibrado, pérdida de vida útil, problemas en el bi-metal, falta de señal de control 24V. | C          | 25%                 | 1,5                              | \$ 97.182           | \$ 137.343                     | \$ 24.296                    |
| Presostato de baja presión | 1.8. 1A2         | Cortocircuito en línea de alimentación.   | C          | 10%                 | 1,5                              | \$ 97.182           | \$ 54.937                      | \$ 9.718                     |
| Contactores                | 1.9. 1A1         | Falta de energía de control en bobina de un contactor (24V).  | C          | 10%                 | 1,5                              | \$ 362.488          | \$ 54.937                      | \$ 36.249                    |
| Contactores                | 1.9. 1A2         | Ausencia de una de las fases.   | C          | 10%                 | 1,5                              | \$ 362.488          | \$ 54.937                      | \$ 36.249                    |
| Relés (Tarjeta de control) | 1.10. 1A1        | No recibe señal de los sensores de temperatura.   | C          | 0%                  | 1,5                              | \$ 1.000.000        | \$ -                           | \$ -                         |
| <b>TOTAL</b>               |                  |   |            |                     |                                  |                     | <b>\$ 1.501.617</b>            | <b>\$ 1.195.711</b>          |

Tabla 67: Resumen de costos de ineficiencia y reparación estimados para alternativa 1.

| Compacto Morrison A320-2   |                  |   |            |                     |                                  |                     |                                |                              |
|----------------------------|------------------|---|------------|---------------------|----------------------------------|---------------------|--------------------------------|------------------------------|
| Sub-Sistema o Componente   | N° Modo de Falla | Modo de Falla   | Criticidad | Frecuencia de Falla | Tiempo de Parada Simulador (hrs) | Costo de Reparación | Costo de Ineficiencia Esperado | Costo de Reparación Esperado |
| Filtros                    | 1.1. 1A1         | Filtro sucio.   | C          | 0%                  | 4                                | \$ 20.000           | \$ -                           | \$ -                         |
| Serpentín evaporador       | 1.2. 1A1         | Serpentín congelado o tapado.   | C          | 25%                 | 8                                | \$ 600.000          | \$ 732.496                     | \$ 150.000                   |
| Serpentín evaporador       | 1.2. 1A2         | Fuga de refrigerante.   | C          | 10%                 | 8                                | \$ 600.000          | \$ 292.998                     | \$ 60.000                    |
| Ventilador de impulsión    | 1.3. 1A1         | Contactador en falla.   | C          | 10%                 |                                  |                     | \$ -                           | \$ -                         |
| Ventilador de impulsión    | 1.3. 1A2         | Pérdida de aislación en bobinas de motor del ventilador.  | C          | 10%                 | 20                               | \$ 600.000          | \$ 732.496                     | \$ 60.000                    |
| Compresor                  | 1.4. 1A1         | Bajo voltaje por aumento de corriente.  | C          | 10%                 | 2                                | \$ 4.081.000        | \$ 73.250                      | \$ 408.100                   |
| Compresor                  | 1.4. 1A2         | Bobinas de compresor dañadas por sobre voltaje.   | C          | 10%                 | 4                                | \$ 4.081.000        | \$ 146.499                     | \$ 408.100                   |
| Compresor                  | 1.4. 1A3         | Sobrecalentamiento del compresor por falta de refrigerante.   | C          | 10%                 | 3                                |                     | \$ 109.874                     | \$ -                         |
| Ventiladores de condensado | 1.5. 1A1         | Contactador en falla.   | C          | 10%                 |                                  |                     | \$ -                           | \$ -                         |
| Ventiladores de condensado | 1.5. 1A2         | Embobinado de motor en cortocircuito.   | C          | 10%                 | 5                                | \$ 500.000          | \$ 183.124                     | \$ 50.000                    |
| Serpentín Condensador      | 1.6. 1A1         | Fuga de refrigerante.   | C          | 10%                 | 8                                | \$ 600.000          | \$ 292.998                     | \$ 60.000                    |
| Serpentín Condensador      | 1.6. 1A2         | Condensador obstruido.  | C          | 25%                 | 2,5                              | \$ 12.000           | \$ 228.905                     | \$ 3.000                     |
| Presostato de alta presión | 1.7. 1A1         | Sobrecalentamiento, pérdida de vida útil, problemas en el bi-metal, falta de señal de control 24V.      | C          | 10%                 | 3                                | \$ 1.000.000        | \$ 109.874                     | \$ 100.000                   |
| Presostato de baja presión | 1.8. 1A1         | Presostato descalibrado, pérdida de vida útil, problemas en el bi-metal, falta de señal de control 24V. | C          | 25%                 | 3                                | \$ 97.182           | \$ 274.686                     | \$ 24.296                    |
| Presostato de baja presión | 1.8. 1A2         | Cortocircuito en línea de alimentación.   | C          | 10%                 | 3                                | \$ 97.182           | \$ 109.874                     | \$ 9.718                     |
| Contactores                | 1.9. 1A1         | Falta de energía de control en bobina de un contactor (24V).  | C          | 10%                 | 4                                | \$ 362.488          | \$ 146.499                     | \$ 36.249                    |
| Contactores                | 1.9. 1A2         | Ausencia de una de las fases.   | C          | 10%                 | 4                                | \$ 362.488          | \$ 146.499                     | \$ 36.249                    |
| Relés (Tarjeta de control) | 1.10. 1A1        | No recibe señal de los sensores de temperatura.   | C          | 0%                  | 4                                | \$ 1.000.000        | \$ -                           | \$ -                         |
| <b>TOTAL</b>               |                  |   |            |                     |                                  |                     | <b>\$ 3.580.074</b>            | <b>\$ 1.405.711</b>          |

Tabla 68; Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 1, Compacto Morrison A320-2.

| Compacto de Emergencia     |                  |   |            |                     |                                  |                     |                                |                              |
|----------------------------|------------------|---|------------|---------------------|----------------------------------|---------------------|--------------------------------|------------------------------|
| Sub-Sistema o Componente   | N° Modo de Falla | Modo de Falla   | Criticidad | Frecuencia de Falla | Tiempo de Parada Simulador (hrs) | Costo de Reparación | Costo de Ineficiencia Esperado | Costo de Reparación Esperado |
| Filtros                    | 1.1. 1A1         | Filtro sucio.   | C          | 0%                  | -                                | \$ 60.000           | \$ -                           | \$ -                         |
| Serpentín evaporador       | 1.2. 1A1         | Serpentín congelado o tapado.   | C          | 25%                 | -                                | \$ 70.200           | \$ -                           | \$ 17.550                    |
| Serpentín evaporador       | 1.2. 1A2         | Fuga de refrigerante.   | C          | 10%                 | -                                | \$ 600.000          | \$ -                           | \$ 60.000                    |
| Ventilador de impulsión    | 1.3. 1A1         | Contactador en falla.   | C          | 25%                 | -                                |                     | \$ -                           | \$ -                         |
| Ventilador de impulsión    | 1.3. 1A2         | Pérdida de aislación en bobinas de motor del ventilador.  | C          | 10%                 | -                                | \$ 300.000          | \$ -                           | \$ 30.000                    |
| Compresor                  | 1.4. 1A1         | Bajo voltaje por aumento de corriente.  | C          | 10%                 | -                                | \$ 4.081.792        | \$ -                           | \$ 408.179                   |
| Compresor                  | 1.4. 1A2         | Bobinas de compresor dañadas por sobre voltaje.   | C          | 10%                 | -                                | \$ 4.081.792        | \$ -                           | \$ 408.179                   |
| Compresor                  | 1.4. 1A3         | Sobrecalentamiento del compresor por falta de refrigerante.   | C          | 10%                 | -                                |                     | \$ -                           | \$ -                         |
| Ventiladores de condensado | 1.5. 1A1         | Contactador en falla.   | C          | 10%                 | -                                |                     | \$ -                           | \$ -                         |
| Ventiladores de condensado | 1.5. 1A2         | Embobinado de motor en cortocircuito.   | C          | 10%                 | -                                | \$ 250.000          | \$ -                           | \$ 25.000                    |
| Serpentín Condensador      | 1.6. 1A1         | Fuga de refrigerante.   | C          | 10%                 | -                                | \$ 600.000          | \$ -                           | \$ 60.000                    |
| Serpentín Condensador      | 1.6. 1A2         | Condensador obstruido.  | SC         | 25%                 | -                                | \$ 12.000           | \$ -                           | \$ 3.000                     |
| Presostato de alta presión | 1.7. 1A1         | Sobrecalentamiento, pérdida de vida útil, problemas en el bi-metal, falta de señal de control 24V.      | C          | 10%                 | -                                | \$ 1.000.000        | \$ -                           | \$ 100.000                   |
| Presostato de baja presión | 1.8. 1A1         | Presostato descalibrado, pérdida de vida útil, problemas en el bi-metal, falta de señal de control 24V. | C          | 25%                 | -                                | \$ 167.000          | \$ -                           | \$ 41.750                    |
| Presostato de baja presión | 1.8. 1A2         | Cortocircuito en línea de alimentación.   | C          | 10%                 | -                                | \$ 167.000          | \$ -                           | \$ 16.700                    |
| Contactores                | 1.9. 1A1         | Falta de energía de control en bobina de un contactor (24V).  | C          | 10%                 | -                                | \$ 362.418          | \$ -                           | \$ 36.242                    |
| Contactores                | 1.9. 1A2         | Ausencia de una de las fases.   | C          | 10%                 | -                                | \$ 362.418          | \$ -                           | \$ 36.242                    |
| Termostato ambiente        | 1.10. 1A1        | No recibe señal de los sensores de temperatura.   | SC         | 0%                  | -                                | \$ 40.000           | \$ -                           | \$ -                         |
| <b>TOTAL</b>               |                  |   |            |                     |                                  | \$                  | \$ -                           | \$ 1.242.842                 |

Tabla 69: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 1, Compacto de Emergencia.

| Compactos Salas HPU y Bahías |                  |  |            |                     |                                  |                     |                                |                              |
|------------------------------|------------------|--|------------|---------------------|----------------------------------|---------------------|--------------------------------|------------------------------|
| Sub-Sistema o Componente     | N° Modo de Falla | Modo de Falla  | Criticidad | Frecuencia de Falla | Tiempo de Parada Simulador (hrs) | Costo de Reparación | Costo de Ineficiencia Esperado | Costo de Reparación Esperado |
| Termostato ambiente          | 1.1. 1A1         | Falta de energía en bobina de un contactor.  | NC         | 10%                 | -                                | \$ 40.000           | \$ -                           | 0                            |
| Filtros                      | 1.2. 1A1         | Filtro sucio.  | SC         | 0%                  | -                                | \$ 19.125           | \$ -                           | -                            |
| Serpentín evaporador         | 1.3. 1A1         | Serpentín congelado.   | NC         | 25%                 | -                                | \$ 70.200           | \$ -                           | 0                            |
| Serpentín evaporador         | 1.3. 1A2         | Fuga de refrigerante.  | SC         | 10%                 | -                                | \$ 540.000          | \$ -                           | \$ 54.000,00                 |
| Ventilador de impulsión      | 1.4. 1A1         | Falta de energía de control en bobina de contactor.                                  | SC         | 25%                 | -                                | \$ 300.000          | \$ -                           | \$ 75.000,00                 |
| Ventilador de impulsión      | 1.4. 1A2         | Motor de ventilador en falla.  | NC         | 10%                 | -                                | \$ 300.000          | \$ -                           | 0                            |
| Ventilador de impulsión      | 1.4. 1A3         | Correa de ventilador cortada.  | SC         | 0%                  | -                                | \$ 22.000           | \$ -                           | \$ -                         |
| Compresores                  | 1.5. 1A1         | Bajo voltaje por aumento de corriente, calentamiento o daño en aislación de bobinas. | C          | 10%                 | -                                | \$ 1.637.686        | \$ -                           | \$ 163.768,60                |
| Compresores                  | 1.5. 1A2         | Sobrecalentamiento del compresor por falta de refrigerante.                          | C          | 10%                 | -                                | \$ 70.200           | \$ -                           | \$ 7.020,00                  |
| Ventilador de condensado     | 1.6. 1A1         | Contacto en falla por falta de energía de control en bobina de contactor.            | SC         | 25%                 | -                                | \$ 250.000          | \$ -                           | \$ 62.500,00                 |
| Serpentín condensador        | 1.7. 1A1         | Fuga de refrigerante.  | NC         | 10%                 | -                                | \$ 540.000          | \$ -                           | 0                            |
| Serpentín condensador        | 1.7. 1A2         | Condensador obstruido.   | SC         | 25%                 | -                                | \$ 12.000           | \$ -                           | \$ 3.000,00                  |
| Presostato de alta presión   | 1.8. 1A1         | Sobrecalentamiento.  | C          | 10%                 | -                                | \$ 284.968          | \$ -                           | \$ 28.496,80                 |
| Presostato de baja presión   | 1.9. 1A1         | Fuga de refrigerante.  | C          | 10%                 | -                                | \$ 167.039          | \$ -                           | \$ 16.703,90                 |
| Contactores                  | 1.10. 1A1        | Falta de energía de control en bobina de contactor.                                  | SC         | 25%                 | -                                | \$ 202.141          | \$ -                           | \$ 50.535,25                 |
| Contactores                  | 1.10. 1A2        | Ausencia de una de las fases.  | NC         | 10%                 | -                                | \$ 39.000           | \$ -                           | 0                            |
| Contactores                  | 1.10. 1A3        | Caída del automático del equipo.   | SC         | 25%                 | -                                | \$ 25.000           | \$ -                           | \$ 6.250,00                  |
| <b>TOTAL</b>                 |                  |  |            |                     |                                  |                     | \$ -                           | \$ <b>467.274,55</b>         |

Tabla 70: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 1, Compactos bahías y salas HPU.

| Torres Enfriamiento              |                  |  |            |                     |                                  |                     |                                |                              |
|----------------------------------|------------------|--|------------|---------------------|----------------------------------|---------------------|--------------------------------|------------------------------|
| Sub-Sistema o Componente         | N° Modo de Falla | Modo de Falla  | Criticidad | Frecuencia de Falla | Tiempo de Parada Simulador (hrs) | Costo de Reparación | Costo de Ineficiencia Esperado | Costo de Reparación Esperado |
| Contactores                      | 1.1. 1A1         | Falta de energía de control en bobina de un contactor.                                   | C          | 25%                 | 4,00                             | \$ 130.000          | \$ 366.248                     | \$ 32.500                    |
| Contactores                      | 1.1. 1A2         | Ausencia de una de las fases.  |            | 15%                 | 4,00                             | \$ 39.000           | \$ 219.749                     | \$ 5.850                     |
| Contactores                      | 1.1. 1A3         | Caída del automático por ausencia de 380V, exceso de corriente o aumento de temperatura. | C          | 25%                 | 4,00                             | \$ 300.000          | \$ 366.248                     | \$ 75.000                    |
| Filtros de agua                  | 1.2. 1A1         | Filtro sucio.  | SC         | 25%                 | 3,00                             | \$ 65.000           | \$ 274.686                     | \$ 16.250                    |
| Ventilador torre de enfriamiento | 1.3. 1A1         | Contactador en falla por falta de energía de control en bobina de contactor.             | -          | 25%                 |                                  | \$ -                | \$ -                           | \$ -                         |
| Ventilador torre de enfriamiento | 1.3. 1A2         | Motor de ventilador en falla.  | C          | 10%                 | 8,00                             | \$ 300.000          | \$ 292.998                     | \$ 30.000                    |
| Bombas de agua                   | 1.4. 1A1         | Contactador en falla por falta de energía de control en bobina de contactor (220V).      | C          | 25%                 | 1,50                             | \$ -                | \$ 137.343                     | \$ -                         |
| Bombas de agua                   | 1.4. 1A2         | Motor de la bomba en falla.  | C          | 10%                 | 1,50                             | \$ 700.000          | \$ 54.937                      | \$ 70.000                    |
| Cañerías y llaves de agua        | 1.5. 1A1         | Llaves de agua cerradas.   | C          | 0%                  | 3,00                             | \$ 450.000          | \$ -                           | \$ -                         |
| Cañerías y llaves de agua        | 1.5. 1A2         | Deterioro de cañerías y llaves.  | C          | 30%                 | 3,00                             | \$ -                | \$ 329.623                     | \$ -                         |
| <b>TOTAL</b>                     |                  |  |            |                     | -                                |                     | \$ 1.712.209                   | \$ 229.600                   |

Tabla 71: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 1, Torres de enfriamiento.

| E. Precisión A320-1                            |                  |   |            |                     |                                  |                     |                                |                              |
|--|------------------|---|------------|---------------------|----------------------------------|---------------------|--------------------------------|------------------------------|
| Sub-Sistema o Componente                       | N° Modo de Falla | Modo de Falla   | Criticidad | Frecuencia de Falla | Tiempo de Parada Simulador (hrs) | Costo de Reparación | Costo de Ineficiencia Esperado | Costo de Reparación Esperado |
| Contactores del ventilador de impulsión        | 11A1             | Cortocircuito en bobinas del contactor del ventilador de impulsión.         | NC         | 5%                  | 4,00                             | \$ 202.141          | 0                              | 0                            |
| Motor del ventilador de impulsión              | 11A2             | Cortocircuito en bobinas del motor del ventilador de impulsión.             | SC         | 0%                  | 4,00                             | \$ 600.000          | \$ -                           | \$ -                         |
| Contactores del ventilador de impulsión        | 11A3             | Ausencia de señal de control (24V) en contactor de ventilador de impulsión. | C          | 0%                  | 3,00                             | \$ 3.000.000        | \$ -                           | \$ -                         |
| Fusible de control del ventilador de impulsión | 11A4             | Fusible de control del ventilador de impulsión quemado.                     | NC         | 10%                 | -                                | \$ 3.000            | 0                              | 0                            |
| Flow switch                                    | 11A5             | Flow switch descalibrado.   | NC         | 0%                  | 3,00                             | \$ 150.000          | 0                              | 0                            |
| Flow switch                                    | 11A6             | Flow switch sucio.  | NC         | 0%                  | -                                | \$ -                | 0                              | 0                            |
| Tarjeta de control                             | 11A7             | Punto del ventilador de impulsión en tarjeta de control quemado.            | C          | 0%                  | 6,00                             | \$ 3.000.000        | \$ -                           | \$ -                         |
| Correa del ventilador de impulsión             | 11A8             | Correa del ventilador de impulsión cortada.                                 | NC         | 0%                  | -                                | \$ 12.000           | 0                              | 0                            |
| Contactores del compresor                      | 11B1             | Bobina de contactor del compresor en cortocircuito.                         | NC         | 0%                  | 4,00                             | \$ 213.886          | 0                              | 0                            |
| Serpentín condensador                          | 11B2             | Serpentín de condensador sucio.   | NC         | 0%                  | 2,00                             | \$ 12.000           | 0                              | 0                            |
| Contactador ventilador de condensado           | 11B3             | Bobina de contactor de ventilador de condensado quemada.                    | NC         | 0%                  | 4,00                             | \$ 206.910          | 0                              | 0                            |
| Contactador ventilador de condensado           | 11B4             | Bobina de motor de ventilador de condensado quemada.                        | SC         | 0%                  | 6,00                             | \$ 450.000          | \$ -                           | \$ -                         |
| Circuito de refrigeración                      | 11B5             | Fuga de refrigerante.   | C          | 0%                  | 10,00                            | \$ 1.000.000        | \$ -                           | \$ -                         |
| Tarjeta de control                             | 11B6             | Punto de tarjeta de control del compresor quemado.                          | C          | 0%                  | 6,00                             | \$ 3.000.000        | \$ -                           | \$ -                         |
| Tarjeta de control                             | 11B7             | Fusible de control del compresor quemado.                                   | C          | 5%                  | -                                | \$ 3.000            | \$ -                           | \$ 150                       |
| Correas del ventilador de impulsión            | 11C1             | Correas del ventilador de impulsión sueltas                                 | NC         | 5%                  | -                                | \$ -                | 0                              | 0                            |
| Filtro   | 11C2             | Filtro sucio.   | SC         | 0%                  | 5,00                             | \$ 55.000           | \$ -                           | \$ -                         |
| Serpentín evaporador                           | 11C3             | Serpentín del evaporador sucio.   | NC         | 0%                  | -                                | \$ -                | 0                              | 0                            |
| <b>TOTAL</b>                                   |                  |   |            |                     |                                  |                     | <b>\$ -</b>                    | <b>\$ 150</b>                |

Tabla 72: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 1, Equipo de Precisión A320-1.



| E. Precisión A320-2                            |                  |   |            |                     |                                  |                     |                                |                              |
|--|------------------|---|------------|---------------------|----------------------------------|---------------------|--------------------------------|------------------------------|
| Sub-Sistema o Componente                       | N° Modo de Falla | Modo de Falla   | Criticidad | Frecuencia de Falla | Tiempo de Parada Simulador (hrs) | Costo de Reparación | Costo de Ineficiencia Esperado | Costo de Reparación Esperado |
| Contactores del ventilador de impulsión        | 11A1             | Cortocircuito en bobinas del contactor del ventilador de impulsión.         | NC         | 0%                  | 4,00                             | \$ 202.141          | 0                              | 0                            |
| Motor del ventilador de impulsión              | 11A2             | Cortocircuito en bobinas del motor del ventilador de impulsión.             | SC         | 0%                  | 4,00                             | \$ 600.000          | \$ -                           | \$ -                         |
| Contactores del ventilador de impulsión        | 11A3             | Ausencia de señal de control (24V) en contactor de ventilador de impulsión. | C          | 0%                  | 3,00                             | \$ 3.000.000        | \$ -                           | \$ -                         |
| Fusible de control del ventilador de impulsión | 11A4             | Fusible de control del ventilador de impulsión quemado.                     | NC         | 5%                  | -                                | \$ 3.000            | 0                              | 0                            |
| Flow switch                                    | 11A5             | Flow switch descalibrado.   | NC         | 0%                  | 3,00                             | \$ 150.000          | 0                              | 0                            |
| Flow switch                                    | 11A6             | Flow switch sucio.  | NC         | 0%                  | -                                | \$ -                | 0                              | 0                            |
| Tarjeta de control                             | 11A7             | Punto del ventilador de impulsión en tarjeta de control quemado.            | C          | 0%                  | 6,00                             | \$ 3.000.000        | \$ -                           | \$ -                         |
| Contactores del compresor                      | 11B1             | Bobina de contactor del compresor en cortocircuito.                         | NC         | 0%                  | 4,00                             | \$ 213.886          | 0                              | 0                            |
| Serpentín condensador                          | 11B2             | Serpentín de condensador sucio.   | NC         | 0%                  | 2,00                             | \$ 12.000           | 0                              | 0                            |
| Contacto ventilador de condensado              | 11B3             | Bobina de contacto de ventilador de condensado quemada.                     | NC         | 0%                  | 4,00                             | \$ 206.910          | 0                              | 0                            |
| Contacto ventilador de condensado              | 11B4             | Bobina de motor de ventilador de condensado quemada.                        | SC         | 0%                  | 6,00                             | \$ 450.000          | \$ -                           | \$ -                         |
| Circuito de refrigeración                      | 11B5             | Fuga de refrigerante.   | C          | 0%                  | 10,00                            | \$ 1.000.000        | \$ -                           | \$ -                         |
| Tarjeta de control                             | 11B6             | Punto de tarjeta de control del compresor quemado.                          | C          | 0%                  | 6,00                             | \$ 3.000.000        | \$ -                           | \$ -                         |
| Tarjeta de control                             | 11B7             | Fusible de control del compresor quemado.                                   | C          | 5%                  | -                                | \$ 3.000            | \$ -                           | \$ 150                       |
| Filtros  | 11C1             | Filtro sucio.   | SC         | 0%                  | 5,00                             | \$ 55.000           | \$ -                           | \$ -                         |
| Serpentín evaporador                           | 11C2             | Serpentín del evaporador sucio.   | NC         | 0%                  | -                                | \$ -                | 0                              | 0                            |
| <b>TOTAL</b>                                   |                  |   |            |                     |                                  |                     | \$ -                           | \$ 150                       |

Tabla 73: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 1, Equipo de Precisión A320-2.

| E. de Precisión B787                           |                  |   |            |                     |                                  |                     |                                |                              |
|--|------------------|---|------------|---------------------|----------------------------------|---------------------|--------------------------------|------------------------------|
| Sub-Sistema o Componente                       | N° Modo de Falla | Modo de Falla   | Criticidad | Frecuencia de Falla | Tiempo de Parada Simulador (hrs) | Costo de Reparación | Costo de Ineficiencia Esperado | Costo de Reparación Esperado |
| Contactores del ventilador de impulsión        | 11A1             | Cortocircuito en bobinas del contactor del ventilador de impulsión.         | NC         | 0%                  | 4,00                             | \$ 202.141          | 0                              | 0                            |
| Motor del ventilador de impulsión              | 11A2             | Cortocircuito en bobinas del motor del ventilador de impulsión.             | SC         | 0%                  | 4,00                             | \$ 600.000          | \$ -                           | \$ -                         |
| Contactores del ventilador de impulsión        | 11A3             | Ausencia de señal de control (24V) en contactor de ventilador de impulsión. | C          | 0%                  | 3,00                             | \$ 3.000.000        | \$ -                           | \$ -                         |
| Fusible de control del ventilador de impulsión | 11A4             | Fusible de control del ventilador de impulsión quemado.                     | NC         | 5%                  |                                  | \$ 3.000            | 0                              | 0                            |
| Flow switch                                    | 11A5             | Flow switch descalibrado.   | NC         | 0%                  | 3,00                             | \$ 150.000          | 0                              | 0                            |
| Flow switch                                    | 11A6             | Flow switch sucio.  | NC         | 0%                  | -                                | \$ -                | 0                              | 0                            |
| Tarjeta de control                             | 11A7             | Punto del ventilador de impulsión en tarjeta de control quemado.            | C          | 0%                  | 6,00                             | \$ 3.000.000        | \$ -                           | \$ -                         |
| Variador de frecuencia                         | 11A8             | Falta de voltaje de control en variado                                      | NC         | 0%                  | 2,00                             | \$ 27.000           | 0                              | 0                            |
| Contactores del compresor                      | 11B1             | Bobina de contactor del compresor en cortocircuito.                         | NC         | 0%                  | 4,00                             | \$ 213.886          | 0                              | 0                            |
| Serpentín condensador                          | 11B2             | Serpentín de condensador sucio.   | NC         | 0%                  | 2,00                             | \$ 12.000           | 0                              | 0                            |
| Contactador ventilador de condensado           | 11B3             | Bobina de contactor de ventilador de condensado quemada.                    | NC         | 0%                  | 4,00                             | \$ 206.910          | 0                              | 0                            |
| Contactador ventilador de condensado           | 11B4             | Bobina de motor de ventilador de condensado quemada.                        | SC         | 0%                  | 6,00                             | \$ 450.000          | \$ -                           | \$ -                         |
| Circuito de refrigeración                      | 11B5             | Fuga de refrigerante.   | C          | 0%                  | 10,00                            | \$ 1.000.000        | \$ -                           | \$ -                         |
| Tarjeta de control                             | 11B6             | Punto de tarjeta de control del compresor quemado.                          | C          | 0%                  | 6,00                             | \$ 3.000.000        | \$ -                           | \$ -                         |
| Tarjeta de control                             | 11B7             | Fusible de control del compresor quemado.                                   | C          | 5%                  | -                                | \$ 3.000            | \$ -                           | \$ 150                       |
| Filtros  | 11C1             | Filtro sucio.   | SC         | 0%                  | 5,00                             | \$ 55.000           | \$ -                           | \$ -                         |
| Serpentín evaporador                           | 11C2             | Serpentín del evaporador sucio.   | NC         | 0%                  | 5,00                             | \$ -                | 0                              | 0                            |
| <b>TOTAL</b>                                   |                  |   |            |                     |                                  |                     | \$ -                           | \$ 150                       |

Tabla 74: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 1, Equipo de Precisión B787.

| Chiller B787                       |                  |  |            |                     |                                  |                     |                                |                              |
|------------------------------------|------------------|--|------------|---------------------|----------------------------------|---------------------|--------------------------------|------------------------------|
| Sub-Sistema o Componente           | N° Modo de Falla | Modo de Falla  | Criticidad | Frecuencia de Falla | Tiempo de Parada Simulador (hrs) | Costo de Reparación | Costo de Ineficiencia Esperado | Costo de Reparación Esperado |
| Compresores                        | 1.1. 1A1         | Bobina de compresor quemada.   | C          | 0%                  | 1                                | \$ 5.153.000        | \$ -                           | \$ -                         |
| Compresores                        | 1.1. 1A2         | Pérdida de rendimiento del compresor.  | C          | 0%                  | 1                                | \$ 5.153.000        | \$ -                           | \$ -                         |
| Contactores de compresores         | 1.2. 1A1         | Pérdida de señal de control.   | C          | 0%                  | 1                                | \$ 1.713.886        | \$ -                           | \$ -                         |
| Contactores de compresores         | 1.2. 1A2         | Falta de reapriete de borneras.  | SC         | 0%                  | 1                                | \$ 3.643.964        | \$ -                           | \$ -                         |
| Contactores de compresores         | 1.2. 1A3         | Desgaste mecánico del contactor del compresor.   | SC         | 5%                  | 1                                | \$ 213.886          | \$ 18.312                      | \$ 10.694                    |
| Contactores de compresores         | 1.2. 1A4         | Contactador funcionando a dos fases.   | SC         | 0%                  | 1                                | \$ 213.886          | \$ -                           | \$ -                         |
| Contactador ventilador condensador | 1.3. 1A1         | Falla de punto en tarjeta de control.  | C          | 0%                  | 1                                | \$ 206.910          | \$ -                           | \$ -                         |
| Contactador ventilador condensador | 1.3. 1A2         | Motor de ventilador quemado.   | SC         | 0%                  | 1                                | \$ 450.000          | \$ -                           | \$ -                         |
| Contactador ventilador condensador | 1.3. 1A3         | Bobina de contactor quemada.   | SC         | 0%                  | 1                                | \$ 206.910          | \$ -                           | \$ -                         |
| Contactador ventilador condensador | 1.3. 1A4         | Desgaste mecánico del contactor del ventilador condensador.  | SC         | 0%                  | 1                                | \$ 206.910          | \$ -                           | \$ -                         |
| Contactador bomba de agua          | 1.4. 1A1         | Falla en punto de tarjeta de control.  | C          | 0%                  | 1                                | \$ 1.500.000        | \$ -                           | \$ -                         |
| Contactador bomba de agua          | 1.4. 1A2         | Motor de bomba trabado por acumulación de óxido o sarro.   | NC         | 0%                  | 1                                | \$ 450.000          | 0                              | 0                            |
| Contactador bomba de agua          | 1.4. 1A3         | Motor de bomba trabado por acoplamiento interno mal ajustado.  | C          | 0%                  | 1                                | \$ 450.000          | \$ -                           | \$ -                         |
| Contactador bomba de agua          | 1.4. 1A4         | Motor de bomba quemado por alta tensión exterior.  | C          | 0%                  | 1                                | \$ 450.000          | \$ -                           | \$ -                         |
| Contactador bomba de agua          | 1.4. 1A5         | Motor de bomba quemado por trabajar en vacío (dado que alguna de las válvulas se encuentra cerrada). | C          | 0%                  | 1                                | \$ 450.000          | \$ -                           | \$ -                         |
| Contactador bomba de agua          | 1.4. 1A6         | Motor de bomba quemado dado que el sistema se encuentra sin agua.                                    | C          | 0%                  | 1                                | \$ 450.000          | \$ -                           | \$ -                         |
| Contactador bomba de agua          | 1.4. 1A7         | Falta de fase en tablero de control (fuerza) del Chiller.  | C          | 0%                  | 1                                |                     | \$ -                           | \$ -                         |
| Contactador bomba de agua          | 1.4. 1A8         | Falta de fase externa al Chiller.  | C          | 5%                  | 1                                |                     | \$ 18.312                      | \$ -                         |

Tabla 75: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 1, Chiller B787 parte 1.

| Chiller B787                              |                  |   |            |                     |                                  |                     |                                |                              |
|---|------------------|---|------------|---------------------|----------------------------------|---------------------|--------------------------------|------------------------------|
| Sub-Sistema o Componente                  | N° Modo de Falla | Modo de Falla   | Criticidad | Frecuencia de Falla | Tiempo de Parada Simulador (hrs) | Costo de Reparación | Costo de Ineficiencia Esperado | Costo de Reparación Esperado |
| Tarjeta de control                        | 1.5. 1A1         | Fuga de gas refrigerante genera ausencia de señal de presostato de baja presión.    | C          | 0%                  | 1                                | \$ 1.000.000        | \$ -                           | \$ -                         |
| Tarjeta de control                        | 1.5. 1A2         | Fuga de aceite y gas refrigerante genera ausencia de señal de presostato de aceite. | C          | 0%                  | 1                                | \$ 1.000.000        | \$ -                           | \$ -                         |
| Presostato de alta y baja presión         | 1.6. 1A1         | Presostatos mal calibrados, en corte o desconectados.                               | C          | 0%                  | 1                                | \$ 62.273           | \$ -                           | \$ -                         |
| Presostato de aceite                      | 1.7. 1A1         | Presostatos mal calibrados, en corte o desconectados.                               | C          | 0%                  | 1                                | \$ 316.716          | \$ -                           | \$ -                         |
| Flow switch                               | 1.8. 1A1         | No hay circulación de agua.   | SC         | 0%                  | 1                                | \$ 400.000          | \$ -                           | \$ -                         |
| Flow switch                               | 1.8. 1A2         | Flow switch pegado o aleta de flow switch en mal estado.                            | SC         | 0%                  | 1                                | \$ 150.000          | \$ -                           | \$ -                         |
| Manómetros                                | 1.9. 1A1         | Manómetro descalibrado.   | NC         | 0%                  | 1                                | \$ 50.000           | 0                              | 0                            |
| Termómetros digital y análogo             | 1.10. 1A1        | Termómetro descalibrado.  | SC         | 0%                  | 1                                | \$ 40.000           | \$ -                           | \$ -                         |
| Ventilador condensador                    | 1.11. 1A1        | Falta de energía de fuerza en contactor de ventilador.                              | SC         | 5%                  | 1                                | \$ 246.223          | \$ 18.312                      | \$ 12.311                    |
| Ventilador condensador                    | 1.11. 1A2        | Falta de energía de control en bobina de contactor.                                 | SC         | 5%                  | 1                                | \$ 27.150           | \$ 18.312                      | \$ 1.358                     |
| Ventilador condensador                    | 1.11. 1A3        | Aspas sueltas, fuera de su lugar o rotas.   | C          | 0%                  | 1                                | \$ 1.944.951        | \$ -                           | \$ -                         |
| Serpentín                                 | 1.12. 1A1        | Serpentín sucio.  | SC         | 0%                  | 1                                | \$ 12.000           | \$ -                           | \$ -                         |
| Resistencia cárter                        | 1.13. 1A1        | Resistencia de cárter dañada.   | SC         | 0%                  | 1                                | \$ 537.650          | \$ -                           | \$ -                         |
| Separador de líquido                      | 1.14. 1A1        | Rotura interna de válvula de expansión.   | SC         | 0%                  | 1                                | \$ 192.116          | \$ -                           | \$ -                         |
| Válvula de servicio y succión de descarga | 1.15. 1A1        | Rotura interna de válvula o con restos de escoria.                                  | NC         | 0%                  | 1                                | \$ 192.116          | 0                              | 0                            |
| Estanque de expansión                     | 1.16. 1A1        | Membrana rota o con poco aire.  | NC         | 0%                  | 1                                | \$ 40.000           | 0                              | 0                            |
| <b>TOTAL</b>                              |                  |   |            |                     |                                  |                     | <b>\$ 73.250</b>               | <b>\$ 24.363</b>             |

Tabla 76: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 1, Chiller B787 parte 2.

| UMA Morrison B787                   |                  |   |            |                     |                                  |                     |                                |                              |
|-------------------------------------|------------------|---|------------|---------------------|----------------------------------|---------------------|--------------------------------|------------------------------|
| Sub-Sistema o Componente            | N° Modo de Falla | Modo de Falla   | Criticidad | Frecuencia de Falla | Tiempo de Parada Simulador (hrs) | Costo de Reparación | Costo de Ineficiencia Esperado | Costo de Reparación Esperado |
| Contactador ventilador de impulsión | 1.1. 1A1         | Falta de energía de control en bobina de un contactor (24 V). | C          | 5%                  | 5                                | \$ 202.141          | \$ 91.562                      | \$ 10.107                    |
| Contactador ventilador de impulsión | 1.1. 1A2         | Ausencia de una de las fases.                                 | C          | 5%                  | 5                                | \$ 202.141          | \$ 91.562                      | \$ 10.107                    |
| Relés de control                    | 1.2. 1A1         | No recibe la señal del sensor de temperatura TE150.           | C          | 0%                  | 3                                | \$ 202.141          | \$ -                           | \$ -                         |
| Relés de control                    | 1.2. 2A1         | No recibe señal del sensor de temperatura.                    | SC         | 0%                  | 3                                | \$ 79.810           | \$ -                           | \$ -                         |
| Filtros                             | 1.3. 1A1         | Filtro sucio.   | C          | 0%                  | 3                                | \$ 60.000           | \$ -                           | \$ -                         |
| Serpentín de agua fría              | 1.4. 1A1         | Serpentín con aire en su interior.                            | SC         | 0%                  | 5                                |                     | \$ -                           | \$ -                         |
| Serpentín de agua fría              | 1.4. 1A2         | Válvula de agua cerrada.                                      | SC         | 0%                  | 2                                | \$ 190.000          | \$ -                           | \$ -                         |
| Ventilador de impulsión             | 1.5. 1A1         | Contactador no acciona.                                       | C          | 0%                  |                                  | \$ 202.141          | \$ -                           | \$ -                         |
| Ventilador de impulsión             | 1.5. 1A2         | Falla en bobinas de motor del ventilador.                     | C          | 0%                  | 20                               | \$ 600.000          | \$ -                           | \$ -                         |
| <b>TOTAL</b>                        |                  |   |            |                     |                                  |                     | <b>\$ 183.124</b>              | <b>\$ 20.214</b>             |

Tabla 77: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 1, UMA Morrison B787.

### 9.3.3. Costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 2.

Esta alternativa contempla:

- Implementar las tareas de mantenimiento.
- Reemplazar serpentín evaporador de compacto Morrison A320-1.
- Homologar eléctricamente compacto Morrison A320-1.
- Instalar puertas aislantes en bahías de simuladores A320-1 y A320-2.
- Realizar análisis de dureza de aguas y cambiar cañerías de torres de enfriamiento.

En la Tabla 78 se presenta el resumen de los costos de ineficiencia y reparación estimados para la alternativa 2. En las Tablas 79 a 89 se presenta el detalle de los costos de ineficiencia y reparación para cada modo de falla.

| Equipo                                 | Costo Ineficiencia Esperado | Costo Reparación Esperado | Total               |
|--|-----------------------------|---------------------------|---------------------|
| Compacto Morrison A3201                | \$ 54.937                   | \$ 36.249                 | \$ 91.186           |
| Compacto Morrison A3202                | \$ 146.499                  | \$ 36.249                 | \$ 182.748          |
| Compacto de Emergencia A320-1          | \$ -                        | \$ 36.242                 | \$ 36.242           |
| Compactos Salas HPU y Bahías           | \$ -                        | \$ 45.428                 | \$ 45.428           |
| Equipo de Precisión A320-1             | \$ -                        | \$ 450                    | \$ 450              |
| Torres de Enfriamiento A320-1 y A320-2 | \$ 741.652                  | \$ 70.350                 | \$ 812.002          |
| Chiller B787                           | \$ 146.499                  | \$ 48.726                 | \$ 195.225          |
| UMA Morrison B787                      | \$ 183.124                  | \$ 20.214                 | \$ 203.338          |
| <b>TOTAL</b>                           | <b>\$ 1.272.712</b>         | <b>\$ 293.908</b>         | <b>\$ 1.566.619</b> |

Tabla 78: Resumen de costos de ineficiencia y reparación estimados para alternativa 2

| Compacto Morrison A320-1   |                  |   |            |                     |                                  |                     |                                |                              |
|----------------------------|------------------|---|------------|---------------------|----------------------------------|---------------------|--------------------------------|------------------------------|
| Sub-Sistema o Componente   | N° Modo de Falla | Modo de Falla   | Criticidad | Frecuencia de Falla | Tiempo de Parada Simulador (hrs) | Costo de Reparación | Costo de Ineficiencia Esperado | Costo de Reparación Esperado |
| Filtros                    | 1.1. 1A1         | Filtro sucio.   | C          | 0%                  | 1,5                              | \$ 20.000           | \$ -                           | \$ -                         |
| Serpentín evaporador       | 1.2. 1A1         | Serpentín congelado o tapado.   | C          | 0%                  | 1,5                              | \$ 600.000          | \$ -                           | \$ -                         |
| Serpentín evaporador       | 1.2. 1A2         | Fuga de refrigerante.   | C          | 0%                  | 1,5                              | \$ 600.000          | \$ -                           | \$ -                         |
| Ventilador de impulsión    | 1.3. 1A1         | Contacto en falla.  | C          | 5%                  |                                  |                     | \$ -                           | \$ -                         |
| Ventilador de impulsión    | 1.3. 1A2         | Pérdida de aislación en bobinas de motor del ventilador.  | C          | 0%                  | 20                               | \$ 600.000          | \$ -                           | \$ -                         |
| Compresor                  | 1.4. 1A1         | Bajo voltaje por aumento de corriente.  | C          | 0%                  | 1,5                              | \$ 4.081.000        | \$ -                           | \$ -                         |
| Compresor                  | 1.4. 1A2         | Bobinas de compresor dañadas por sobre voltaje.   | C          | 0%                  | 1,5                              | \$ 4.081.000        | \$ -                           | \$ -                         |
| Compresor                  | 1.4. 1A3         | Sobrecalentamiento del compresor por falta de refrigerante.   | C          | 0%                  | 1,5                              |                     | \$ -                           | \$ -                         |
| Ventiladores de condensado | 1.5. 1A1         | Contacto en falla.  | C          | 5%                  |                                  |                     | \$ -                           | \$ -                         |
| Ventiladores de condensado | 1.5. 1A2         | Embobinado de motor en cortocircuito.   | C          | 0%                  | 1,5                              | \$ 500.000          | \$ -                           | \$ -                         |
| Serpentín Condensador      | 1.6. 1A1         | Fuga de refrigerante.   | C          | 0%                  | 1,5                              | \$ 600.000          | \$ -                           | \$ -                         |
| Serpentín Condensador      | 1.6. 1A2         | Condensador obstruido.  | C          | 0%                  | 1,5                              | \$ 12.000           | \$ -                           | \$ -                         |
| Presostato de alta presión | 1.7. 1A1         | Sobrecalentamiento, pérdida de vida útil, problemas en el bi-metal, falta de señal de control 24V.      | C          | 0%                  | 1,5                              | \$ 1.000.000        | \$ -                           | \$ -                         |
| Presostato de baja presión | 1.8. 1A1         | Presostato descalibrado, pérdida de vida útil, problemas en el bi-metal, falta de señal de control 24V. | C          | 0%                  | 1,5                              | \$ 97.182           | \$ -                           | \$ -                         |
| Presostato de baja presión | 1.8. 1A2         | Cortocircuito en línea de alimentación.   | C          | 0%                  | 1,5                              | \$ 97.182           | \$ -                           | \$ -                         |
| Contactores                | 1.9. 1A1         | Falta de energía de control en bobina de un contactor (24V).  | C          | 5%                  | 1,5                              | \$ 362.488          | \$ 27.469                      | \$ 18.124                    |
| Contactores                | 1.9. 1A2         | Ausencia de una de las fases.   | C          | 5%                  | 1,5                              | \$ 362.488          | \$ 27.469                      | \$ 18.124                    |
| Relés (Tarjeta de control) | 1.10. 1A1        | No recibe señal de los sensores de temperatura.   | C          | 0%                  | 1,5                              | \$ 1.000.000        | \$ -                           | \$ -                         |
| <b>TOTAL</b>               |                  |   |            |                     |                                  |                     | <b>\$ 54.937</b>               | <b>\$ 36.249</b>             |

Tabla 79: Resumen de costos de ineficiencia y reparación estimados para alternativa 2.

| Compacto Morrison A320-2   |                  |   |            |                     |                                  |                     |                                |                              |
|----------------------------|------------------|---|------------|---------------------|----------------------------------|---------------------|--------------------------------|------------------------------|
| Sub-Sistema o Componente   | N° Modo de Falla | Modo de Falla   | Criticidad | Frecuencia de Falla | Tiempo de Parada Simulador (hrs) | Costo de Reparación | Costo de Ineficiencia Esperado | Costo de Reparación Esperado |
| Filtros                    | 1.1. 1A1         | Filtro sucio.   | C          | 0%                  | 4                                | \$ 20.000           | \$ -                           | \$ -                         |
| Serpentín evaporador       | 1.2. 1A1         | Serpentín congelado o tapado.   | C          | 0%                  | 8                                | \$ 600.000          | \$ -                           | \$ -                         |
| Serpentín evaporador       | 1.2. 1A2         | Fuga de refrigerante.   | C          | 0%                  | 8                                | \$ 600.000          | \$ -                           | \$ -                         |
| Ventilador de impulsión    | 1.3. 1A1         | Contacto en falla.  | C          | 5%                  |                                  |                     | \$ -                           | \$ -                         |
| Ventilador de impulsión    | 1.3. 1A2         | Pérdida de aislación en bobinas de motor del ventilador.  | C          | 0%                  | 20                               | \$ 600.000          | \$ -                           | \$ -                         |
| Compresor                  | 1.4. 1A1         | Bajo voltaje por aumento de corriente.  | C          | 0%                  | 2                                | \$ 4.081.000        | \$ -                           | \$ -                         |
| Compresor                  | 1.4. 1A2         | Bobinas de compresor dañadas por sobre voltaje.   | C          | 0%                  | 4                                | \$ 4.081.000        | \$ -                           | \$ -                         |
| Compresor                  | 1.4. 1A3         | Sobrecalentamiento del compresor por falta de refrigerante.   | C          | 0%                  | 3                                |                     | \$ -                           | \$ -                         |
| Ventiladores de condensado | 1.5. 1A1         | Contacto en falla.  | C          | 5%                  |                                  |                     | \$ -                           | \$ -                         |
| Ventiladores de condensado | 1.5. 1A2         | Embobinado de motor en cortocircuito.   | C          | 0%                  | 5                                | \$ 500.000          | \$ -                           | \$ -                         |
| Serpentín Condensador      | 1.6. 1A1         | Fuga de refrigerante.   | C          | 0%                  | 8                                | \$ 600.000          | \$ -                           | \$ -                         |
| Serpentín Condensador      | 1.6. 1A2         | Condensador obstruido.  | C          | 0%                  | 2,5                              | \$ 12.000           | \$ -                           | \$ -                         |
| Presostato de alta presión | 1.7. 1A1         | Sobrecalentamiento, pérdida de vida útil, problemas en el bi-metal, falta de señal de control 24V.      | C          | 0%                  | 3                                | \$ 1.000.000        | \$ -                           | \$ -                         |
| Presostato de baja presión | 1.8. 1A1         | Presostato descalibrado, pérdida de vida útil, problemas en el bi-metal, falta de señal de control 24V. | C          | 0%                  | 3                                | \$ 97.182           | \$ -                           | \$ -                         |
| Presostato de baja presión | 1.8. 1A2         | Cortocircuito en línea de alimentación.   | C          | 0%                  | 3                                | \$ 97.182           | \$ -                           | \$ -                         |
| Contactores                | 1.9. 1A1         | Falta de energía de control en bobina de un contactor (24V).  | C          | 5%                  | 4                                | \$ 362.488          | \$ 73.250                      | \$ 18.124                    |
| Contactores                | 1.9. 1A2         | Ausencia de una de las fases.   | C          | 5%                  | 4                                | \$ 362.488          | \$ 73.250                      | \$ 18.124                    |
| Relés (Tarjeta de control) | 1.10. 1A1        | No recibe señal de los sensores de temperatura.   | C          | 0%                  | 4                                | \$ 1.000.000        | \$ -                           | \$ -                         |
| <b>TOTAL</b>               |                  |   |            |                     |                                  |                     | \$ 146.499                     | \$ 36.249                    |

Tabla 80: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 2, Compacto Morrison A320-2.

| Compacto de Emergencia     |                  |   |            |                     |                                  |                     |                                |                              |               |
|----------------------------|------------------|---|------------|---------------------|----------------------------------|---------------------|--------------------------------|------------------------------|---------------|
| Sub-Sistema o Componente   | N° Modo de Falla | Modo de Falla   | Criticidad | Frecuencia de Falla | Tiempo de Parada Simulador (hrs) | Costo de Reparación | Costo de Ineficiencia Esperado | Costo de Reparación Esperado |               |
| Filtros                    | 1.1. 1A1         | Filtro sucio.   | C          | 0%                  | -                                | \$ 60.000           | \$ -                           | \$ -                         |               |
| Serpentín evaporador       | 1.2. 1A1         | Serpentín congelado o tapado.   | C          | 0%                  | -                                | \$ 70.200           | \$ -                           | \$ -                         |               |
| Serpentín evaporador       | 1.2. 1A2         | Fuga de refrigerante.   | C          | 0%                  | -                                | \$ 600.000          | \$ -                           | \$ -                         |               |
| Ventilador de impulsión    | 1.3. 1A1         | Contactador en falla.   | C          | 5%                  | -                                |                     | \$ -                           | \$ -                         |               |
| Ventilador de impulsión    | 1.3. 1A2         | Pérdida de aislación en bobinas de motor del ventilador.  | C          | 0%                  | -                                | \$ 300.000          | \$ -                           | \$ -                         |               |
| Compresor                  | 1.4. 1A1         | Bajo voltaje por aumento de corriente.  | C          | 0%                  | -                                | \$ 4.081.792        | \$ -                           | \$ -                         |               |
| Compresor                  | 1.4. 1A2         | Bobinas de compresor dañadas por sobre voltaje.   | C          | 0%                  | -                                | \$ 4.081.792        | \$ -                           | \$ -                         |               |
| Compresor                  | 1.4. 1A3         | Sobrecalentamiento del compresor por falta de refrigerante.   | C          | 0%                  | -                                |                     | \$ -                           | \$ -                         |               |
| Ventiladores de condensado | 1.5. 1A1         | Contactador en falla.   | C          | 5%                  | -                                |                     | \$ -                           | \$ -                         |               |
| Ventiladores de condensado | 1.5. 1A2         | Embobinado de motor en cortocircuito.   | C          | 0%                  | -                                | \$ 250.000          | \$ -                           | \$ -                         |               |
| Serpentín Condensador      | 1.6. 1A1         | Fuga de refrigerante.   | C          | 0%                  | -                                | \$ 600.000          | \$ -                           | \$ -                         |               |
| Serpentín Condensador      | 1.6. 1A2         | Condensador obstruido.  | SC         | 0%                  | -                                | \$ 12.000           | \$ -                           | \$ -                         |               |
| Presostato de alta presión | 1.7. 1A1         | Sobrecalentamiento, pérdida de vida útil, problemas en el bi-metal, falta de señal de control 24V.      | C          | 0%                  | -                                | \$ 1.000.000        | \$ -                           | \$ -                         |               |
| Presostato de baja presión | 1.8. 1A1         | Presostato descalibrado, pérdida de vida útil, problemas en el bi-metal, falta de señal de control 24V. | C          | 0%                  | -                                | \$ 167.000          | \$ -                           | \$ -                         |               |
| Presostato de baja presión | 1.8. 1A2         | Cortocircuito en línea de alimentación.   | C          | 0%                  | -                                | \$ 167.000          | \$ -                           | \$ -                         |               |
| Contactores                | 1.9. 1A1         | Falta de energía de control en bobina de un contactor (24V).  | C          | 5%                  | -                                | \$ 362.418          | \$ -                           | \$ 18.121                    |               |
| Contactores                | 1.9. 1A2         | Ausencia de una de las fases.   | C          | 5%                  | -                                | \$ 362.418          | \$ -                           | \$ 18.121                    |               |
| Termostato ambiente        | 1.10. 1A1        | No recibe señal de los sensores de temperatura.   | SC         | 0%                  | -                                | \$ 40.000           | \$ -                           | \$ -                         |               |
| <b>TOTAL</b>               |                  |   |            |                     |                                  |                     | \$ -                           | \$ -                         | <b>36.242</b> |

Tabla 81: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 2, Compacto de Emergencia.



| Compactos Salas HPU y Bahías |                  |  |            |                     |                                  |                     |                                |                              |  |
|------------------------------|------------------|--|------------|---------------------|----------------------------------|---------------------|--------------------------------|------------------------------|--|
| Sub-Sistema o Componente     | N° Modo de Falla | Modo de Falla  | Criticidad | Frecuencia de Falla | Tiempo de Parada Simulador (hrs) | Costo de Reparación | Costo de Ineficiencia Esperado | Costo de Reparación Esperado |  |
| Termostato ambiente          | 1.1. 1A1         | Falta de energía en bobina de un contactor.  | NC         | 0%                  | -                                | \$ 40.000           | \$ -                           | 0                            |  |
| Filtros                      | 1.2. 1A1         | Filtro sucio.  | SC         | 0%                  | -                                | \$ 19.125           | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Serpentín evaporador         | 1.3. 1A1         | Serpentín congelado.   | NC         | 0%                  | -                                | \$ 70.200           | \$ -                           | 0                            |  |
| Serpentín evaporador         | 1.3. 1A2         | Fuga de refrigerante.  | SC         | 0%                  | -                                | \$ 540.000          | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Ventilador de impulsión      | 1.4. 1A1         | Falta de energía de control en bobina de contactor.                                  | SC         | 0%                  | -                                | \$ 300.000          | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Ventilador de impulsión      | 1.4. 1A2         | Motor de ventilador en falla.  | NC         | 0%                  | -                                | \$ 300.000          | \$ -                           | 0                            |  |
| Ventilador de impulsión      | 1.4. 1A3         | Correa de ventilador cortada.  | SC         | 0%                  | -                                | \$ 22.000           | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Compresores                  | 1.5. 1A1         | Bajo voltaje por aumento de corriente, calentamiento o daño en aislación de bobinas. | C          | 0%                  | -                                | \$ 1.637.686        | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Compresores                  | 1.5. 1A2         | Sobrecalentamiento del compresor por falta de refrigerante.                          | C          | 0%                  | -                                | \$ 70.200           | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Ventilador de condensado     | 1.6. 1A1         | Contacto en falla por falta de energía de control en bobina de contactor.            | SC         | 0%                  | -                                | \$ 250.000          | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Serpentín condensador        | 1.7. 1A1         | Fuga de refrigerante.  | NC         | 0%                  | -                                | \$ 540.000          | \$ -                           | 0                            |  |
| Serpentín condensador        | 1.7. 1A2         | Condensador obstruido.   | SC         | 0%                  | -                                | \$ 12.000           | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Presostato de alta presión   | 1.8. 1A1         | Sobrecalentamiento.  | C          | 0%                  | -                                | \$ 284.968          | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Presostato de baja presión   | 1.9. 1A1         | Fuga de refrigerante.  | C          | 0%                  | -                                | \$ 167.039          | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Contactores                  | 1.10. 1A1        | Falta de energía de control en bobina de contactor.                                  | SC         | 5%                  | -                                | \$ 202.141          | \$ -                           | \$ 10.107,05                 |  |
| Contactores                  | 1.10. 1A2        | Ausencia de una de las fases.  | NC         | 5%                  | -                                | \$ 39.000           | \$ -                           | 0                            |  |
| Contactores                  | 1.10. 1A3        | Caída del automático del equipo.   | SC         | 5%                  | -                                | \$ 25.000           | \$ -                           | \$ 1.250,00                  |  |
| <b>TOTAL</b>                 |                  |  |            |                     |                                  |                     | \$ -                           | \$ 11.357,05                 |  |

Tabla 82: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 2, Compactos bahías y salas HPU.

| Torres Enfriamiento              |                  |  |            |                     |                                  |                     |                                |                              |
|----------------------------------|------------------|--|------------|---------------------|----------------------------------|---------------------|--------------------------------|------------------------------|
| Sub-Sistema o Componente         | N° Modo de Falla | Modo de Falla  | Criticidad | Frecuencia de Falla | Tiempo de Parada Simulador (hrs) | Costo de Reparación | Costo de Ineficiencia Esperado | Costo de Reparación Esperado |
| Contactores                      | 1.1. 1A1         | Falta de energía de control en bobina de un contactor.                                   | C          | 5%                  | 4,00                             | \$ 130.000          | \$ 73.250                      | \$ 6.500                     |
| Contactores                      | 1.1. 1A2         | Ausencia de una de las fases.  |            | 5%                  | 4,00                             | \$ 39.000           | \$ 73.250                      | \$ 1.950                     |
| Contactores                      | 1.1. 1A3         | Caída del automático por ausencia de 380V, exceso de corriente o aumento de temperatura. | C          | 5%                  | 4,00                             | \$ 300.000          | \$ 73.250                      | \$ 15.000                    |
| Filtros de agua                  | 1.2. 1A1         | Filtro sucio.  | SC         | 0%                  | 3,00                             | \$ 65.000           | \$ -                           | \$ -                         |
| Ventilador torre de enfriamiento | 1.3. 1A1         | Contactador en falla por falta de energía de control en bobina de contactor.             | -          | 5%                  |                                  | \$ -                | \$ -                           | \$ -                         |
| Ventilador torre de enfriamiento | 1.3. 1A2         | Motor de ventilador en falla.  | C          | 0%                  | 8,00                             | \$ 300.000          | \$ -                           | \$ -                         |
| Bombas de agua                   | 1.4. 1A1         | Contactador en falla por falta de energía de control en bobina de contactor (220V).      | C          | 5%                  | 1,50                             | \$ -                | \$ 27.469                      | \$ -                         |
| Bombas de agua                   | 1.4. 1A2         | Motor de la bomba en falla.  | C          | 0%                  | 1,50                             | \$ 700.000          | \$ -                           | \$ -                         |
| Cañerías y llaves de agua        | 1.5. 1A1         | Llaves de agua cerradas.   | C          | 0%                  | 3,00                             | \$ 450.000          | \$ -                           | \$ -                         |
| Cañerías y llaves de agua        | 1.5. 1A2         | Deterioro de cañerías y llaves.  | C          | 0%                  | 3,00                             | \$ -                | \$ -                           | \$ -                         |
| <b>TOTAL</b>                     |                  |  |            |                     | -                                |                     | \$ 247.217                     | \$ 23.450                    |

Tabla 83: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 2, Torres de enfriamiento.

| E. Precisión A320-1                            |                  |   |            |                     |                                  |                     |                                |                              |
|--|------------------|---|------------|---------------------|----------------------------------|---------------------|--------------------------------|------------------------------|
| Sub-Sistema o Componente                       | N° Modo de Falla | Modo de Falla   | Criticidad | Frecuencia de Falla | Tiempo de Parada Simulador (hrs) | Costo de Reparación | Costo de Ineficiencia Esperado | Costo de Reparación Esperado |
| Contactores del ventilador de impulsión        | 11A1             | Cortocircuito en bobinas del contactor del ventilador de impulsión.         | NC         | 5%                  | 4,00                             | \$ 202.141          | 0                              | 0                            |
| Motor del ventilador de impulsión              | 11A2             | Cortocircuito en bobinas del motor del ventilador de impulsión.             | SC         | 0%                  | 4,00                             | \$ 600.000          | \$ -                           | \$ -                         |
| Contactores del ventilador de impulsión        | 11A3             | Ausencia de señal de control (24V) en contactor de ventilador de impulsión. | C          | 0%                  | 3,00                             | \$ 3.000.000        | \$ -                           | \$ -                         |
| Fusible de control del ventilador de impulsión | 11A4             | Fusible de control del ventilador de impulsión quemado.                     | NC         | 5%                  | -                                | \$ 3.000            | 0                              | 0                            |
| Flow switch                                    | 11A5             | Flow switch descalibrado.   | NC         | 0%                  | 3,00                             | \$ 150.000          | 0                              | 0                            |
| Flow switch                                    | 11A6             | Flow switch sucio.  | NC         | 0%                  | -                                | \$ -                | 0                              | 0                            |
| Tarjeta de control                             | 11A7             | Punto del ventilador de impulsión en tarjeta de control quemado.            | C          | 0%                  | 6,00                             | \$ 3.000.000        | \$ -                           | \$ -                         |
| Correa del ventilador de impulsión             | 11A8             | Correa del ventilador de impulsión cortada.                                 | NC         | 0%                  | -                                | \$ 12.000           | 0                              | 0                            |
| Contactores del compresor                      | 11B1             | Bobina de contactor del compresor en cortocircuito.                         | NC         | 0%                  | 4,00                             | \$ 213.886          | 0                              | 0                            |
| Serpentín condensador                          | 11B2             | Serpentín de condensador sucio.   | NC         | 0%                  | 2,00                             | \$ 12.000           | 0                              | 0                            |
| Contactador ventilador de condensado           | 11B3             | Bobina de contactor de ventilador de condensado quemada.                    | NC         | 0%                  | 4,00                             | \$ 206.910          | 0                              | 0                            |
| Contactador ventilador de condensado           | 11B4             | Bobina de motor de ventilador de condensado quemada.                        | SC         | 0%                  | 6,00                             | \$ 450.000          | \$ -                           | \$ -                         |
| Circuito de refrigeración                      | 11B5             | Fuga de refrigerante.   | C          | 0%                  | 10,00                            | \$ 1.000.000        | \$ -                           | \$ -                         |
| Tarjeta de control                             | 11B6             | Punto de tarjeta de control del compresor quemado.                          | C          | 0%                  | 6,00                             | \$ 3.000.000        | \$ -                           | \$ -                         |
| Tarjeta de control                             | 11B7             | Fusible de control del compresor quemado.                                   | C          | 5%                  | -                                | \$ 3.000            | \$ -                           | \$ 150                       |
| Correas del ventilador de impulsión            | 11C1             | Correas del ventilador de impulsión sueltas                                 | NC         | 5%                  | -                                | \$ -                | 0                              | 0                            |
| Filtro   | 11C2             | Filtro sucio.   | SC         | 0%                  | 5,00                             | \$ 55.000           | \$ -                           | \$ -                         |
| Serpentín evaporador                           | 11C3             | Serpentín del evaporador sucio.   | NC         | 0%                  | -                                | \$ -                | 0                              | 0                            |
| <b>TOTAL</b>                                   |                  |   |            |                     |                                  |                     | \$ -                           | \$ 150                       |

Tabla 84: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 2, Equipo de Precisión A320-1.

| E. Precisión A320-2                            |                  |   |            |                     |                                  |                     |                                |                              |
|--|------------------|---|------------|---------------------|----------------------------------|---------------------|--------------------------------|------------------------------|
| Sub-Sistema o Componente                       | N° Modo de Falla | Modo de Falla   | Criticidad | Frecuencia de Falla | Tiempo de Parada Simulador (hrs) | Costo de Reparación | Costo de Ineficiencia Esperado | Costo de Reparación Esperado |
| Contactores del ventilador de impulsión        | 11A1             | Cortocircuito en bobinas del contactor del ventilador de impulsión.         | NC         | 0%                  | 4,00                             | \$ 202.141          | 0                              | 0                            |
| Motor del ventilador de impulsión              | 11A2             | Cortocircuito en bobinas del motor del ventilador de impulsión.             | SC         | 0%                  | 4,00                             | \$ 600.000          | \$ -                           | \$ -                         |
| Contactores del ventilador de impulsión        | 11A3             | Ausencia de señal de control (24V) en contactor de ventilador de impulsión. | C          | 0%                  | 3,00                             | \$ 3.000.000        | \$ -                           | \$ -                         |
| Fusible de control del ventilador de impulsión | 11A4             | Fusible de control del ventilador de impulsión quemado.                     | NC         | 5%                  | -                                | \$ 3.000            | 0                              | 0                            |
| Flow switch                                    | 11A5             | Flow switch descalibrado.   | NC         | 0%                  | 3,00                             | \$ 150.000          | 0                              | 0                            |
| Flow switch                                    | 11A6             | Flow switch sucio.  | NC         | 0%                  | -                                | \$ -                | 0                              | 0                            |
| Tarjeta de control                             | 11A7             | Punto del ventilador de impulsión en tarjeta de control quemado.            | C          | 0%                  | 6,00                             | \$ 3.000.000        | \$ -                           | \$ -                         |
| Contactores del compresor                      | 11B1             | Bobina de contactor del compresor en cortocircuito.                         | NC         | 0%                  | 4,00                             | \$ 213.886          | 0                              | 0                            |
| Serpentín condensador                          | 11B2             | Serpentín de condensador sucio.   | NC         | 0%                  | 2,00                             | \$ 12.000           | 0                              | 0                            |
| Contactador ventilador de condensado           | 11B3             | Bobina de contactor de ventilador de condensado quemada.                    | NC         | 0%                  | 4,00                             | \$ 206.910          | 0                              | 0                            |
| Contactador ventilador de condensado           | 11B4             | Bobina de motor de ventilador de condensado quemada.                        | SC         | 0%                  | 6,00                             | \$ 450.000          | \$ -                           | \$ -                         |
| Circuito de refrigeración                      | 11B5             | Fuga de refrigerante.   | C          | 0%                  | 10,00                            | \$ 1.000.000        | \$ -                           | \$ -                         |
| Tarjeta de control                             | 11B6             | Punto de tarjeta de control del compresor quemado.                          | C          | 0%                  | 6,00                             | \$ 3.000.000        | \$ -                           | \$ -                         |
| Tarjeta de control                             | 11B7             | Fusible de control del compresor quemado.                                   | C          | 5%                  | -                                | \$ 3.000            | \$ -                           | \$ 150                       |
| Filtros  | 11C1             | Filtro sucio.   | SC         | 0%                  | 5,00                             | \$ 55.000           | \$ -                           | \$ -                         |
| Serpentín evaporador                           | 11C2             | Serpentín del evaporador sucio.   | NC         | 0%                  | -                                | \$ -                | 0                              | 0                            |
| <b>TOTAL</b>                                   |                  |   |            |                     |                                  |                     | \$ -                           | \$ 150                       |

Tabla 85: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 2, Equipo de Precisión A320-2.

| E. de Precisión B787                           |                  |   |            |                     |                                  |                     |                                |                              |
|--|------------------|---|------------|---------------------|----------------------------------|---------------------|--------------------------------|------------------------------|
| Sub-Sistema o Componente                       | N° Modo de Falla | Modo de Falla   | Criticidad | Frecuencia de Falla | Tiempo de Parada Simulador (hrs) | Costo de Reparación | Costo de Ineficiencia Esperado | Costo de Reparación Esperado |
| Contactores del ventilador de impulsión        | 11A1             | Cortocircuito en bobinas del contactor del ventilador de impulsión.         | NC         | 0%                  | 4,00                             | \$ 202.141          | 0                              | 0                            |
| Motor del ventilador de impulsión              | 11A2             | Cortocircuito en bobinas del motor del ventilador de impulsión.             | SC         | 0%                  | 4,00                             | \$ 600.000          | \$ -                           | \$ -                         |
| Contactores del ventilador de impulsión        | 11A3             | Ausencia de señal de control (24V) en contactor de ventilador de impulsión. | C          | 0%                  | 3,00                             | \$ 3.000.000        | \$ -                           | \$ -                         |
| Fusible de control del ventilador de impulsión | 11A4             | Fusible de control del ventilador de impulsión quemado.                     | NC         | 5%                  |                                  | \$ 3.000            | 0                              | 0                            |
| Flow switch                                    | 11A5             | Flow switch descalibrado.   | NC         | 0%                  | 3,00                             | \$ 150.000          | 0                              | 0                            |
| Flow switch                                    | 11A6             | Flow switch sucio.  | NC         | 0%                  | -                                | \$ -                | 0                              | 0                            |
| Tarjeta de control                             | 11A7             | Punto del ventilador de impulsión en tarjeta de control quemado.            | C          | 0%                  | 6,00                             | \$ 3.000.000        | \$ -                           | \$ -                         |
| Variador de frecuencia                         | 11A8             | Falta de voltaje de control en variado                                      | NC         | 0%                  | 2,00                             | 27000               | 0                              | 0                            |
| Contactores del compresor                      | 11B1             | Bobina de contactor del compresor en cortocircuito.                         | NC         | 0%                  | 4,00                             | \$ 213.886          | 0                              | 0                            |
| Serpentín condensador                          | 11B2             | Serpentín de condensador sucio.   | NC         | 0%                  | 2,00                             | \$ 12.000           | 0                              | 0                            |
| Contactador ventilador de condensado           | 11B3             | Bobina de contactor de ventilador de condensado quemada.                    | NC         | 0%                  | 4,00                             | \$ 206.910          | 0                              | 0                            |
| Contactador ventilador de condensado           | 11B4             | Bobina de motor de ventilador de condensado quemada.                        | SC         | 0%                  | 6,00                             | \$ 450.000          | \$ -                           | \$ -                         |
| Circuito de refrigeración                      | 11B5             | Fuga de refrigerante.   | C          | 0%                  | 10,00                            | \$ 1.000.000        | \$ -                           | \$ -                         |
| Tarjeta de control                             | 11B6             | Punto de tarjeta de control del compresor quemado.                          | C          | 0%                  | 6,00                             | \$ 3.000.000        | \$ -                           | \$ -                         |
| Tarjeta de control                             | 11B7             | Fusible de control del compresor quemado.                                   | C          | 5%                  | -                                | \$ 3.000            | \$ -                           | \$ 150                       |
| Filtros  | 11C1             | Filtro sucio.   | SC         | 0%                  | 5,00                             | \$ 55.000           | \$ -                           | \$ -                         |
| Serpentín evaporador                           | 11C2             | Serpentín del evaporador sucio.   | NC         | 0%                  | 5,00                             | \$ -                | 0                              | 0                            |
| <b>TOTAL</b>                                   |                  |   |            |                     |                                  |                     | \$ -                           | \$ <b>150</b>                |

Tabla 86: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 2, Equipo de Precisión B787.

| Chiller B787                       |                  |  |            |                     |                                  |                     |                                |                              |
|------------------------------------|------------------|--|------------|---------------------|----------------------------------|---------------------|--------------------------------|------------------------------|
| Sub-Sistema o Componente           | N° Modo de Falla | Modo de Falla  | Criticidad | Frecuencia de Falla | Tiempo de Parada Simulador (hrs) | Costo de Reparación | Costo de Ineficiencia Esperado | Costo de Reparación Esperado |
| Compresores                        | 1.1. 1A1         | Bobina de compresor quemada.   | C          | 0%                  | 1                                | \$ 5.153.000        | \$ -                           | \$ -                         |
| Compresores                        | 1.1. 1A2         | Pérdida de rendimiento del compresor.  | C          | 0%                  | 1                                | \$ 5.153.000        | \$ -                           | \$ -                         |
| Contactores de compresores         | 1.2. 1A1         | Pérdida de señal de control.   | C          | 0%                  | 1                                | \$ 1.713.886        | \$ -                           | \$ -                         |
| Contactores de compresores         | 1.2. 1A2         | Falta de reapriete de borneras.  | SC         | 0%                  | 1                                | \$ 3.643.964        | \$ -                           | \$ -                         |
| Contactores de compresores         | 1.2. 1A3         | Desgaste mecánico del contactor del compresor.   | SC         | 5%                  | 1                                | \$ 213.886          | \$ 18.312                      | \$ 10.694                    |
| Contactores de compresores         | 1.2. 1A4         | Contactador funcionando a dos fases.   | SC         | 0%                  | 1                                | \$ 213.886          | \$ -                           | \$ -                         |
| Contactador ventilador condensador | 1.3. 1A1         | Falla de punto en tarjeta de control.  | C          | 0%                  | 1                                | \$ 206.910          | \$ -                           | \$ -                         |
| Contactador ventilador condensador | 1.3. 1A2         | Motor de ventilador quemado.   | SC         | 0%                  | 1                                | \$ 450.000          | \$ -                           | \$ -                         |
| Contactador ventilador condensador | 1.3. 1A3         | Bobina de contactor quemada.   | SC         | 0%                  | 1                                | \$ 206.910          | \$ -                           | \$ -                         |
| Contactador ventilador condensador | 1.3. 1A4         | Desgaste mecánico del contactor del ventilador condensador.  | SC         | 0%                  | 1                                | \$ 206.910          | \$ -                           | \$ -                         |
| Contactador bomba de agua          | 1.4. 1A1         | Falla en punto de tarjeta de control.  | C          | 0%                  | 1                                | \$ 1.500.000        | \$ -                           | \$ -                         |
| Contactador bomba de agua          | 1.4. 1A2         | Motor de bomba trabado por acumulación de óxido o sarro.   | NC         | 0%                  | 1                                | \$ 450.000          | 0                              | 0                            |
| Contactador bomba de agua          | 1.4. 1A3         | Motor de bomba trabado por acoplamiento interno mal ajustado.  | C          | 0%                  | 1                                | \$ 450.000          | \$ -                           | \$ -                         |
| Contactador bomba de agua          | 1.4. 1A4         | Motor de bomba quemado por alta tensión exterior.  | C          | 0%                  | 1                                | \$ 450.000          | \$ -                           | \$ -                         |
| Contactador bomba de agua          | 1.4. 1A5         | Motor de bomba quemado por trabajar en vacío (dado que alguna de las válvulas se encuentra cerrada). | C          | 0%                  | 1                                | \$ 450.000          | \$ -                           | \$ -                         |
| Contactador bomba de agua          | 1.4. 1A6         | Motor de bomba quemado dado que el sistema se encuentra sin agua.                                    | C          | 0%                  | 1                                | \$ 450.000          | \$ -                           | \$ -                         |
| Contactador bomba de agua          | 1.4. 1A7         | Falta de fase en tablero de control (fuerza) del Chiller.  | C          | 0%                  | 1                                |                     | \$ -                           | \$ -                         |
| Contactador bomba de agua          | 1.4. 1A8         | Falta de fase externa al Chiller.  | C          | 5%                  | 1                                |                     | \$ 18.312                      | \$ -                         |

Tabla 87: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 2, Chiller B787 parte 1.

| Chiller B787                              |                  |   |            |                     |                                  |                     |                                |                              |
|---|------------------|---|------------|---------------------|----------------------------------|---------------------|--------------------------------|------------------------------|
| Sub-Sistema o Componente                  | N° Modo de Falla | Modo de Falla   | Criticidad | Frecuencia de Falla | Tiempo de Parada Simulador (hrs) | Costo de Reparación | Costo de Ineficiencia Esperado | Costo de Reparación Esperado |
| Tarjeta de control                        | 1.5. 1A1         | Fuga de gas refrigerante genera ausencia de señal de presostato de baja presión.    | C          | 0%                  | 1                                | \$ 1.000.000        | \$ -                           | \$ -                         |
| Tarjeta de control                        | 1.5. 1A2         | Fuga de aceite y gas refrigerante genera ausencia de señal de presostato de aceite. | C          | 0%                  | 1                                | \$ 1.000.000        | \$ -                           | \$ -                         |
| Presostato de alta y baja presión         | 1.6. 1A1         | Presostatos mal calibrados, en corte o desconectados.                               | C          | 0%                  | 1                                | \$ 62.273           | \$ -                           | \$ -                         |
| Presostato de aceite                      | 1.7. 1A1         | Presostatos mal calibrados, en corte o desconectados.                               | C          | 0%                  | 1                                | \$ 316.716          | \$ -                           | \$ -                         |
| Flow switch                               | 1.8. 1A1         | No hay circulación de agua.   | SC         | 0%                  | 1                                | \$ 400.000          | \$ -                           | \$ -                         |
| Flow switch                               | 1.8. 1A2         | Flow switch pegado o aleta de flow switch en mal estado.                            | SC         | 0%                  | 1                                | \$ 150.000          | \$ -                           | \$ -                         |
| Manómetros                                | 1.9. 1A1         | Manómetro descalibrado.   | NC         | 0%                  | 1                                | \$ 50.000           | 0                              | 0                            |
| Termómetros digital y análogo             | 1.10. 1A1        | Termómetro descalibrado.  | SC         | 0%                  | 1                                | \$ 40.000           | \$ -                           | \$ -                         |
| Ventilador condensador                    | 1.11. 1A1        | Falta de energía de fuerza en contactor de ventilador.                              | SC         | 5%                  | 1                                | \$ 246.223          | \$ 18.312                      | \$ 12.311                    |
| Ventilador condensador                    | 1.11. 1A2        | Falta de energía de control en bobina de contactor.                                 | SC         | 5%                  | 1                                | \$ 27.150           | \$ 18.312                      | \$ 1.358                     |
| Ventilador condensador                    | 1.11. 1A3        | Aspas sueltas, fuera de su lugar o rotas.   | C          | 0%                  | 1                                | \$ 1.944.951        | \$ -                           | \$ -                         |
| Serpentín                                 | 1.12. 1A1        | Serpentín sucio.  | SC         | 0%                  | 1                                | \$ 12.000           | \$ -                           | \$ -                         |
| Resistencia cárter                        | 1.13. 1A1        | Resistencia de cárter dañada.   | SC         | 0%                  | 1                                | \$ 537.650          | \$ -                           | \$ -                         |
| Separador de líquido                      | 1.14. 1A1        | Rotura interna de válvula de expansión.   | SC         | 0%                  | 1                                | \$ 192.116          | \$ -                           | \$ -                         |
| Válvula de servicio y succión de descarga | 1.15. 1A1        | Rotura interna de válvula o con restos de escoria.                                  | NC         | 0%                  | 1                                | \$ 192.116          | 0                              | 0                            |
| Estanque de expansión                     | 1.16. 1A1        | Membrana rota o con poco aire.  | NC         | 0%                  | 1                                | \$ 40.000           | 0                              | 0                            |
| <b>TOTAL</b>                              |                  |   |            |                     |                                  |                     | <b>\$ 73.250</b>               | <b>\$ 24.363</b>             |

Tabla 88: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 2, Chiller B787 parte 2.

| UMA Morrison B787                   |                  |   |            |                     |                                  |                     |                                |                              |
|-------------------------------------|------------------|---|------------|---------------------|----------------------------------|---------------------|--------------------------------|------------------------------|
| Sub-Sistema o Componente            | N° Modo de Falla | Modo de Falla   | Criticidad | Frecuencia de Falla | Tiempo de Parada Simulador (hrs) | Costo de Reparación | Costo de Ineficiencia Esperado | Costo de Reparación Esperado |
| Contactador ventilador de impulsión | 1.1. 1A1         | Falta de energía de control en bobina de un contactor (24 V). | C          | 5%                  | 5                                | \$ 202.141          | \$ 91.562                      | \$ 10.107                    |
| Contactador ventilador de impulsión | 1.1. 1A2         | Ausencia de una de las fases.                                 | C          | 5%                  | 5                                | \$ 202.141          | \$ 91.562                      | \$ 10.107                    |
| Relés de control                    | 1.2. 1A1         | No recibe la señal del sensor de temperatura TE150.           | C          | 0%                  | 3                                | \$ 202.141          | \$ -                           | \$ -                         |
| Relés de control                    | 1.2. 2A1         | No recibe señal del sensor de temperatura.                    | SC         | 0%                  | 3                                | \$ 79.810           | \$ -                           | \$ -                         |
| Filtros                             | 1.3. 1A1         | Filtro sucio.   | C          | 0%                  | 3                                | \$ 60.000           | \$ -                           | \$ -                         |
| Serpentín de agua fría              | 1.4. 1A1         | Serpentín con aire en su interior.                            | SC         | 0%                  | 5                                |                     | \$ -                           | \$ -                         |
| Serpentín de agua fría              | 1.4. 1A2         | Válvula de agua cerrada.                                      | SC         | 0%                  | 2                                | \$ 190.000          | \$ -                           | \$ -                         |
| Ventilador de impulsión             | 1.5. 1A1         | Contactador no acciona.                                       | C          | 0%                  |                                  | \$ 202.141          | \$ -                           | \$ -                         |
| Ventilador de impulsión             | 1.5. 1A2         | Falla en bobinas de motor del ventilador.                     | C          | 0%                  | 20                               | \$ 600.000          | \$ -                           | \$ -                         |
| <b>TOTAL</b>                        |                  |   |            |                     |                                  |                     | <b>\$ 183.124</b>              | <b>\$ 20.214</b>             |

Tabla 89: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 2, UMA Morrison B787.

### 9.3.4. Costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 3.

Esta alternativa contempla:

- Implementar las tareas de mantenimiento.
- Reemplazar serpentín evaporador de compacto Morrison A320-1.
- Homologar eléctricamente compacto Morrison A320-1.
- Instalar puertas aislantes en bahías de simuladores A320-1 y A320-2.
- Realizar análisis de dureza de aguas y cambiar cañerías de torres de enfriamiento.
- Implementar un control centralizado básico.

En la Tabla 90 se presenta el resumen de los costos de ineficiencia y reparación estimados para la alternativa 3. En las Tablas 91 a 101 se presenta el detalle de los costos de ineficiencia y reparación para cada modo de falla.

| Equipo                                 | Costo Ineficiencia Esperado | Costo Reparación Esperado | Total             |
|--|-----------------------------|---------------------------|-------------------|
| Compacto Morrison A3201                | \$ 18.312                   | \$ 36.249                 | \$ 54.561         |
| Compacto Morrison A3202                | \$ 36.625                   | \$ 36.249                 | \$ 72.874         |
| Compacto de Emergencia A320-1          | \$ -                        | \$ 36.242                 | \$ 36.242         |
| Compactos Salas HPU y Bahías           | \$ -                        | \$ 45.428                 | \$ 45.428         |
| Equipo de Precisión A320-1             | \$ -                        | \$ 450                    | \$ 450            |
| Torres de Enfriamiento A320-1 y A320-2 | \$ 109.874                  | \$ 70.350                 | \$ 180.224        |
| Chiller B787                           | \$ -                        | \$ 48.726                 | \$ 48.726         |
| UMA Morrison B787                      | \$ 36.625                   | \$ 20.214                 | \$ 56.839         |
| <b>TOTAL</b>                           | <b>\$ 201.436</b>           | <b>\$ 293.908</b>         | <b>\$ 495.344</b> |

Tabla 90: Resumen de costos de ineficiencia y reparación estimados para alternativa 3.



| Compacto Morrison A320-1   |                  |   |            |                     |                                  |                     |                                |                              |
|----------------------------|------------------|---|------------|---------------------|----------------------------------|---------------------|--------------------------------|------------------------------|
| Sub-Sistema o Componente   | N° Modo de Falla | Modo de Falla   | Criticidad | Frecuencia de Falla | Tiempo de Parada Simulador (hrs) | Costo de Reparación | Costo de Ineficiencia Esperado | Costo de Reparación Esperado |
| Filtros                    | 1.1. 1A1         | Filtro sucio.   | C          | 0%                  | 0,5                              | \$ 20.000           | \$ -                           | \$ -                         |
| Serpentín evaporador       | 1.2. 1A1         | Serpentín congelado o tapado.   | C          | 0%                  | 0,5                              | \$ 600.000          | \$ -                           | \$ -                         |
| Serpentín evaporador       | 1.2. 1A2         | Fuga de refrigerante.   | C          | 0%                  | 0,5                              | \$ 600.000          | \$ -                           | \$ -                         |
| Ventilador de impulsión    | 1.3. 1A1         | Contactora en falla.  | C          | 5%                  |                                  |                     | \$ -                           | \$ -                         |
| Ventilador de impulsión    | 1.3. 1A2         | Pérdida de aislación en bobinas de motor del ventilador.  | C          | 0%                  | 20                               | \$ 600.000          | \$ -                           | \$ -                         |
| Compresor                  | 1.4. 1A1         | Bajo voltaje por aumento de corriente.  | C          | 0%                  | 0,5                              | \$ 4.081.000        | \$ -                           | \$ -                         |
| Compresor                  | 1.4. 1A2         | Bobinas de compresor dañadas por sobre voltaje.   | C          | 0%                  | 0,5                              | \$ 4.081.000        | \$ -                           | \$ -                         |
| Compresor                  | 1.4. 1A3         | Sobrecalentamiento del compresor por falta de refrigerante.   | C          | 0%                  | 0,5                              |                     | \$ -                           | \$ -                         |
| Ventiladores de condensado | 1.5. 1A1         | Contactora en falla.  | C          | 5%                  |                                  |                     | \$ -                           | \$ -                         |
| Ventiladores de condensado | 1.5. 1A2         | Embobinado de motor en cortocircuito.   | C          | 0%                  | 0,5                              | \$ 500.000          | \$ -                           | \$ -                         |
| Serpentín Condensador      | 1.6. 1A1         | Fuga de refrigerante.   | C          | 0%                  | 0,5                              | \$ 600.000          | \$ -                           | \$ -                         |
| Serpentín Condensador      | 1.6. 1A2         | Condensador obstruido.  | C          | 0%                  | 0,5                              | \$ 12.000           | \$ -                           | \$ -                         |
| Presostato de alta presión | 1.7. 1A1         | Sobrecalentamiento, pérdida de vida útil, problemas en el bi-metal, falta de señal de control 24V.      | C          | 0%                  | 0,5                              | \$ 1.000.000        | \$ -                           | \$ -                         |
| Presostato de baja presión | 1.8. 1A1         | Presostato descalibrado, pérdida de vida útil, problemas en el bi-metal, falta de señal de control 24V. | C          | 0%                  | 0,5                              | \$ 97.182           | \$ -                           | \$ -                         |
| Presostato de baja presión | 1.8. 1A2         | Cortocircuito en línea de alimentación.   | C          | 0%                  | 0,5                              | \$ 97.182           | \$ -                           | \$ -                         |
| Contactores                | 1.9. 1A1         | Falta de energía de control en bobina de un contactor (24V).  | C          | 5%                  | 0,5                              | \$ 362.488          | \$ 9.156                       | \$ 18.124                    |
| Contactores                | 1.9. 1A2         | Ausencia de una de las fases.   | C          | 5%                  | 0,5                              | \$ 362.488          | \$ 9.156                       | \$ 18.124                    |
| Relés (Tarjeta de control) | 1.10. 1A1        | No recibe señal de los sensores de temperatura.   | C          | 0%                  | 0,5                              | \$ 1.000.000        | \$ -                           | \$ -                         |
| <b>TOTAL</b>               |                  |   |            |                     |                                  |                     | <b>\$ 18.312</b>               | <b>\$ 36.249</b>             |

Tabla 91: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 3, Compacto Morrison A320-1.

| Compacto Morrison A320-2   |                  |   |            |                     |                                  |                     |                                |                              |
|----------------------------|------------------|---|------------|---------------------|----------------------------------|---------------------|--------------------------------|------------------------------|
| Sub-Sistema o Componente   | N° Modo de Falla | Modo de Falla   | Criticidad | Frecuencia de Falla | Tiempo de Parada Simulador (hrs) | Costo de Reparación | Costo de Ineficiencia Esperado | Costo de Reparación Esperado |
| Filtros                    | 1.1. 1A1         | Filtro sucio.   | C          | 0%                  | 1                                | \$ 20.000           | \$ -                           | \$ -                         |
| Serpentín evaporador       | 1.2. 1A1         | Serpentín congelado o tapado.   | C          | 0%                  | 1                                | \$ 600.000          | \$ -                           | \$ -                         |
| Serpentín evaporador       | 1.2. 1A2         | Fuga de refrigerante.   | C          | 0%                  | 2                                | \$ 600.000          | \$ -                           | \$ -                         |
| Ventilador de impulsión    | 1.3. 1A1         | Contactora en falla.  | C          | 5%                  |                                  |                     | \$ -                           | \$ -                         |
| Ventilador de impulsión    | 1.3. 1A2         | Pérdida de aislación en bobinas de motor del ventilador.  | C          | 0%                  | 20                               | \$ 600.000          | \$ -                           | \$ -                         |
| Compresor                  | 1.4. 1A1         | Bajo voltaje por aumento de corriente.  | C          | 0%                  | 1                                | \$ 4.081.000        | \$ -                           | \$ -                         |
| Compresor                  | 1.4. 1A2         | Bobinas de compresor dañadas por sobre voltaje.   | C          | 0%                  | 1                                | \$ 4.081.000        | \$ -                           | \$ -                         |
| Compresor                  | 1.4. 1A3         | Sobrecalentamiento del compresor por falta de refrigerante.   | C          | 0%                  | 1                                |                     | \$ -                           | \$ -                         |
| Ventiladores de condensado | 1.5. 1A1         | Contactora en falla.  | C          | 5%                  |                                  |                     | \$ -                           | \$ -                         |
| Ventiladores de condensado | 1.5. 1A2         | Embobinado de motor en cortocircuito.   | C          | 0%                  | 1                                | \$ 500.000          | \$ -                           | \$ -                         |
| Serpentín Condensador      | 1.6. 1A1         | Fuga de refrigerante.   | C          | 0%                  | 1                                | \$ 600.000          | \$ -                           | \$ -                         |
| Serpentín Condensador      | 1.6. 1A2         | Condensador obstruido.  | C          | 0%                  | 1                                | \$ 12.000           | \$ -                           | \$ -                         |
| Presostato de alta presión | 1.7. 1A1         | Sobrecalentamiento, pérdida de vida útil, problemas en el bi-metal, falta de señal de control 24V.      | C          | 0%                  | 1                                | \$ 1.000.000        | \$ -                           | \$ -                         |
| Presostato de baja presión | 1.8. 1A1         | Presostato descalibrado, pérdida de vida útil, problemas en el bi-metal, falta de señal de control 24V. | C          | 0%                  | 1                                | \$ 97.182           | \$ -                           | \$ -                         |
| Presostato de baja presión | 1.8. 1A2         | Cortocircuito en línea de alimentación.   | C          | 0%                  | 1                                | \$ 97.182           | \$ -                           | \$ -                         |
| Contactores                | 1.9. 1A1         | Falta de energía de control en bobina de un contactor (24V).  | C          | 5%                  | 1                                | \$ 362.488          | \$ 18.312                      | \$ 18.124                    |
| Contactores                | 1.9. 1A2         | Ausencia de una de las fases.   | C          | 5%                  | 1                                | \$ 362.488          | \$ 18.312                      | \$ 18.124                    |
| Relés (Tarjeta de control) | 1.10. 1A1        | No recibe señal de los sensores de temperatura.   | C          | 0%                  | 1                                | \$ 1.000.000        | \$ -                           | \$ -                         |
| <b>TOTAL</b>               |                  |   |            |                     |                                  |                     | \$ 36.625                      | \$ 36.249                    |

Tabla 92: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 3, Compacto Morrison A320-2.

| Compacto de Emergencia     |                  |   |            |                     |                                  |                     |                                |                              |  |
|----------------------------|------------------|---|------------|---------------------|----------------------------------|---------------------|--------------------------------|------------------------------|--|
| Sub-Sistema o Componente   | N° Modo de Falla | Modo de Falla   | Criticidad | Frecuencia de Falla | Tiempo de Parada Simulador (hrs) | Costo de Reparación | Costo de Ineficiencia Esperado | Costo de Reparación Esperado |  |
| Filtros                    | 1.1. 1A1         | Filtro sucio.   | C          | 0%                  | -                                | \$ 60.000           | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Serpentín evaporador       | 1.2. 1A1         | Serpentín congelado o tapado.   | C          | 0%                  | -                                | \$ 70.200           | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Serpentín evaporador       | 1.2. 1A2         | Fuga de refrigerante.   | C          | 0%                  | -                                | \$ 600.000          | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Ventilador de impulsión    | 1.3. 1A1         | Contactador en falla.   | C          | 5%                  | -                                |                     | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Ventilador de impulsión    | 1.3. 1A2         | Pérdida de aislación en bobinas de motor del ventilador.  | C          | 0%                  | -                                | \$ 300.000          | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Compresor                  | 1.4. 1A1         | Bajo voltaje por aumento de corriente.  | C          | 0%                  | -                                | \$ 4.081.792        | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Compresor                  | 1.4. 1A2         | Bobinas de compresor dañadas por sobre voltaje.   | C          | 0%                  | -                                | \$ 4.081.792        | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Compresor                  | 1.4. 1A3         | Sobrecalentamiento del compresor por falta de refrigerante.   | C          | 0%                  | -                                |                     | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Ventiladores de condensado | 1.5. 1A1         | Contactador en falla.   | C          | 5%                  | -                                |                     | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Ventiladores de condensado | 1.5. 1A2         | Embobinado de motor en cortocircuito.   | C          | 0%                  | -                                | \$ 250.000          | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Serpentín Condensador      | 1.6. 1A1         | Fuga de refrigerante.   | C          | 0%                  | -                                | \$ 600.000          | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Serpentín Condensador      | 1.6. 1A2         | Condensador obstruido.  | SC         | 0%                  | -                                | \$ 12.000           | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Presostato de alta presión | 1.7. 1A1         | Sobrecalentamiento, pérdida de vida útil, problemas en el bi-metal, falta de señal de control 24V.      | C          | 0%                  | -                                | \$ 1.000.000        | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Presostato de baja presión | 1.8. 1A1         | Presostato descalibrado, pérdida de vida útil, problemas en el bi-metal, falta de señal de control 24V. | C          | 0%                  | -                                | \$ 167.000          | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Presostato de baja presión | 1.8. 1A2         | Cortocircuito en línea de alimentación.   | C          | 0%                  | -                                | \$ 167.000          | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Contactores                | 1.9. 1A1         | Falta de energía de control en bobina de un contactor (24V).  | C          | 5%                  | -                                | \$ 362.418          | \$ -                           | \$ 18.121                    |  |
| Contactores                | 1.9. 1A2         | Ausencia de una de las fases.   | C          | 5%                  | -                                | \$ 362.418          | \$ -                           | \$ 18.121                    |  |
| Termostato ambiente        | 1.10. 1A1        | No recibe señal de los sensores de temperatura.   | SC         | 0%                  | -                                | \$ 40.000           | \$ -                           | \$ -                         |  |
| <b>TOTAL</b>               |                  |   |            |                     |                                  |                     | \$ -                           | \$ 36.242                    |  |

Tabla 93: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 3, Compacto de Emergencia.

| Compactos Salas HPU y Bahías |                  |  |            |                     |                                  |                     |                                |                              |  |
|------------------------------|------------------|--|------------|---------------------|----------------------------------|---------------------|--------------------------------|------------------------------|--|
| Sub-Sistema o Componente     | N° Modo de Falla | Modo de Falla  | Criticidad | Frecuencia de Falla | Tiempo de Parada Simulador (hrs) | Costo de Reparación | Costo de Ineficiencia Esperado | Costo de Reparación Esperado |  |
| Termostato ambiente          | 1.1. 1A1         | Falta de energía en bobina de un contactor.  | NC         | 0%                  | -                                | \$ 40.000           | \$ -                           | 0                            |  |
| Filtros                      | 1.2. 1A1         | Filtro sucio.  | SC         | 0%                  | -                                | \$ 19.125           | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Serpentín evaporador         | 1.3. 1A1         | Serpentín congelado.   | NC         | 0%                  | -                                | \$ 70.200           | \$ -                           | 0                            |  |
| Serpentín evaporador         | 1.3. 1A2         | Fuga de refrigerante.  | SC         | 0%                  | -                                | \$ 540.000          | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Ventilador de impulsión      | 1.4. 1A1         | Falta de energía de control en bobina de contactor.                                  | SC         | 0%                  | -                                | \$ 300.000          | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Ventilador de impulsión      | 1.4. 1A2         | Motor de ventilador en falla.  | NC         | 0%                  | -                                | \$ 300.000          | \$ -                           | 0                            |  |
| Ventilador de impulsión      | 1.4. 1A3         | Correa de ventilador cortada.  | SC         | 0%                  | -                                | \$ 22.000           | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Compresores                  | 1.5. 1A1         | Bajo voltaje por aumento de corriente, calentamiento o daño en aislación de bobinas. | C          | 0%                  | -                                | \$ 1.637.686        | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Compresores                  | 1.5. 1A2         | Sobrecalentamiento del compresor por falta de refrigerante.                          | C          | 0%                  | -                                | \$ 70.200           | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Ventilador de condensado     | 1.6. 1A1         | Contacto en falla por falta de energía de control en bobina de contactor.            | SC         | 0%                  | -                                | \$ 250.000          | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Serpentín condensador        | 1.7. 1A1         | Fuga de refrigerante.  | NC         | 0%                  | -                                | \$ 540.000          | \$ -                           | 0                            |  |
| Serpentín condensador        | 1.7. 1A2         | Condensador obstruido.   | SC         | 0%                  | -                                | \$ 12.000           | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Presostato de alta presión   | 1.8. 1A1         | Sobrecalentamiento.  | C          | 0%                  | -                                | \$ 284.968          | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Presostato de baja presión   | 1.9. 1A1         | Fuga de refrigerante.  | C          | 0%                  | -                                | \$ 167.039          | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Contactores                  | 1.10. 1A1        | Falta de energía de control en bobina de contactor.                                  | SC         | 5%                  | -                                | \$ 202.141          | \$ -                           | \$ 10.107,05                 |  |
| Contactores                  | 1.10. 1A2        | Ausencia de una de las fases.  | NC         | 5%                  | -                                | \$ 39.000           | \$ -                           | 0                            |  |
| Contactores                  | 1.10. 1A3        | Caída del automático del equipo.   | SC         | 5%                  | -                                | \$ 25.000           | \$ -                           | \$ 1.250,00                  |  |
| <b>TOTAL</b>                 |                  |  |            |                     |                                  |                     | \$ -                           | \$ 11.357,05                 |  |

Tabla 94: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 3, Compactos bahías y salas HPU.

| Torres Enfriamiento              |                  |  |            |                     |                                  |                     |                                |                              |
|----------------------------------|------------------|--|------------|---------------------|----------------------------------|---------------------|--------------------------------|------------------------------|
| Sub-Sistema o Componente         | N° Modo de Falla | Modo de Falla  | Criticidad | Frecuencia de Falla | Tiempo de Parada Simulador (hrs) | Costo de Reparación | Costo de Ineficiencia Esperado | Costo de Reparación Esperado |
| Contactores                      | 1.1. 1A1         | Falta de energía de control en bobina de un contactor.                                   | C          | 5%                  | 0,50                             | \$ 130.000          | \$ 9.156                       | \$ 6.500                     |
| Contactores                      | 1.1. 1A2         | Ausencia de una de las fases.  |            | 5%                  | 0,50                             | \$ 39.000           | \$ 9.156                       | \$ 1.950                     |
| Contactores                      | 1.1. 1A3         | Caída del automático por ausencia de 380V, exceso de corriente o aumento de temperatura. | C          | 5%                  | 0,50                             | \$ 300.000          | \$ 9.156                       | \$ 15.000                    |
| Filtros de agua                  | 1.2. 1A1         | Filtro sucio.  | SC         | 0%                  | 0,50                             | \$ 65.000           | \$ -                           | \$ -                         |
| Ventilador torre de enfriamiento | 1.3. 1A1         | Contactador en falla por falta de energía de control en bobina de contactor.             | -          | 5%                  |                                  | \$ -                | \$ -                           | \$ -                         |
| Ventilador torre de enfriamiento | 1.3. 1A2         | Motor de ventilador en falla.  | C          | 0%                  | 0,50                             | \$ 300.000          | \$ -                           | \$ -                         |
| Bombas de agua                   | 1.4. 1A1         | Contactador en falla por falta de energía de control en bobina de contactor (220V).      | C          | 5%                  | 0,50                             | \$ -                | \$ 9.156                       | \$ -                         |
| Bombas de agua                   | 1.4. 1A2         | Motor de la bomba en falla.  | C          | 0%                  | 0,50                             | \$ 700.000          | \$ -                           | \$ -                         |
| Cañerías y llaves de agua        | 1.5. 1A1         | Llaves de agua cerradas.   | C          | 0%                  | 0,50                             | \$ 450.000          | \$ -                           | \$ -                         |
| Cañerías y llaves de agua        | 1.5. 1A2         | Deterioro de cañerías y llaves.  | C          | 0%                  | 0,50                             | \$ -                | \$ -                           | \$ -                         |
| <b>TOTAL</b>                     |                  |  |            |                     | -                                |                     | \$ 36.625                      | \$ 23.450                    |

Tabla 95: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 3, Torres de enfriamiento.

| E. Precisión A320-1                            |                  |   |            |                     |                                  |                     |                                |                              |
|--|------------------|---|------------|---------------------|----------------------------------|---------------------|--------------------------------|------------------------------|
| Sub-Sistema o Componente                       | N° Modo de Falla | Modo de Falla   | Criticidad | Frecuencia de Falla | Tiempo de Parada Simulador (hrs) | Costo de Reparación | Costo de Ineficiencia Esperado | Costo de Reparación Esperado |
| Contactores del ventilador de impulsión        | 11A1             | Cortocircuito en bobinas del contactor del ventilador de impulsión.         | NC         | 5%                  | 4,00                             | \$ 202.141          | 0                              | 0                            |
| Motor del ventilador de impulsión              | 11A2             | Cortocircuito en bobinas del motor del ventilador de impulsión.             | SC         | 0%                  | 4,00                             | \$ 600.000          | \$ -                           | \$ -                         |
| Contactores del ventilador de impulsión        | 11A3             | Ausencia de señal de control (24V) en contactor de ventilador de impulsión. | C          | 0%                  | 3,00                             | \$ 3.000.000        | \$ -                           | \$ -                         |
| Fusible de control del ventilador de impulsión | 11A4             | Fusible de control del ventilador de impulsión quemado.                     | NC         | 10%                 | -                                | \$ 3.000            | 0                              | 0                            |
| Flow switch                                    | 11A5             | Flow switch descalibrado.   | NC         | 0%                  | 3,00                             | \$ 150.000          | 0                              | 0                            |
| Flow switch                                    | 11A6             | Flow switch sucio.  | NC         | 0%                  | -                                | \$ -                | 0                              | 0                            |
| Tarjeta de control                             | 11A7             | Punto del ventilador de impulsión en tarjeta de control quemado.            | C          | 0%                  | 6,00                             | \$ 3.000.000        | \$ -                           | \$ -                         |
| Correa del ventilador de impulsión             | 11A8             | Correa del ventilador de impulsión cortada.                                 | NC         | 0%                  | -                                | \$ 12.000           | 0                              | 0                            |
| Contactores del compresor                      | 11B1             | Bobina de contactor del compresor en cortocircuito.                         | NC         | 0%                  | 4,00                             | \$ 213.886          | 0                              | 0                            |
| Serpentín condensador                          | 11B2             | Serpentín de condensador sucio.   | NC         | 0%                  | 2,00                             | \$ 12.000           | 0                              | 0                            |
| Contactador ventilador de condensado           | 11B3             | Bobina de contactor de ventilador de condensado quemada.                    | NC         | 0%                  | 4,00                             | \$ 206.910          | 0                              | 0                            |
| Contactador ventilador de condensado           | 11B4             | Bobina de motor de ventilador de condensado quemada.                        | SC         | 0%                  | 6,00                             | \$ 450.000          | \$ -                           | \$ -                         |
| Circuito de refrigeración                      | 11B5             | Fuga de refrigerante.   | C          | 0%                  | 10,00                            | \$ 1.000.000        | \$ -                           | \$ -                         |
| Tarjeta de control                             | 11B6             | Punto de tarjeta de control del compresor quemado.                          | C          | 0%                  | 6,00                             | \$ 3.000.000        | \$ -                           | \$ -                         |
| Tarjeta de control                             | 11B7             | Fusible de control del compresor quemado.                                   | C          | 5%                  | -                                | \$ 3.000            | \$ -                           | \$ 150                       |
| Correas del ventilador de impulsión            | 11C1             | Correas del ventilador de impulsión sueltas                                 | NC         | 5%                  | -                                | \$ -                | 0                              | 0                            |
| Filtro   | 11C2             | Filtro sucio.   | SC         | 0%                  | 5,00                             | \$ 55.000           | \$ -                           | \$ -                         |
| Serpentín evaporador                           | 11C3             | Serpentín del evaporador sucio.   | NC         | 0%                  | -                                | \$ -                | 0                              | 0                            |
| <b>TOTAL</b>                                   |                  |   |            |                     |                                  |                     | \$ -                           | \$ 150                       |

Tabla 96: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 3, Equipo de Precisión A320-1.

| E. Precisión A320-2                            |                  |   |            |                     |                                  |                     |                                |                              |
|--|------------------|---|------------|---------------------|----------------------------------|---------------------|--------------------------------|------------------------------|
| Sub-Sistema o Componente                       | N° Modo de Falla | Modo de Falla   | Criticidad | Frecuencia de Falla | Tiempo de Parada Simulador (hrs) | Costo de Reparación | Costo de Ineficiencia Esperado | Costo de Reparación Esperado |
| Contactores del ventilador de impulsión        | 11A1             | Cortocircuito en bobinas del contactor del ventilador de impulsión.         | NC         | 0%                  | 4,00                             | \$ 202.141          | 0                              | 0                            |
| Motor del ventilador de impulsión              | 11A2             | Cortocircuito en bobinas del motor del ventilador de impulsión.             | SC         | 0%                  | 4,00                             | \$ 600.000          | \$ -                           | \$ -                         |
| Contactores del ventilador de impulsión        | 11A3             | Ausencia de señal de control (24V) en contactor de ventilador de impulsión. | C          | 0%                  | 3,00                             | \$ 3.000.000        | \$ -                           | \$ -                         |
| Fusible de control del ventilador de impulsión | 11A4             | Fusible de control del ventilador de impulsión quemado.                     | NC         | 5%                  | -                                | \$ 3.000            | 0                              | 0                            |
| Flow switch                                    | 11A5             | Flow switch descalibrado.   | NC         | 0%                  | 3,00                             | \$ 150.000          | 0                              | 0                            |
| Flow switch                                    | 11A6             | Flow switch sucio.  | NC         | 0%                  | -                                | \$ -                | 0                              | 0                            |
| Tarjeta de control                             | 11A7             | Punto del ventilador de impulsión en tarjeta de control quemado.            | C          | 0%                  | 6,00                             | \$ 3.000.000        | \$ -                           | \$ -                         |
| Contactores del compresor                      | 11B1             | Bobina de contactor del compresor en cortocircuito.                         | NC         | 0%                  | 4,00                             | \$ 213.886          | 0                              | 0                            |
| Serpentín condensador                          | 11B2             | Serpentín de condensador sucio.   | NC         | 0%                  | 2,00                             | \$ 12.000           | 0                              | 0                            |
| Contactador ventilador de condensado           | 11B3             | Bobina de contactor de ventilador de condensado quemada.                    | NC         | 0%                  | 4,00                             | \$ 206.910          | 0                              | 0                            |
| Contactador ventilador de condensado           | 11B4             | Bobina de motor de ventilador de condensado quemada.                        | SC         | 0%                  | 6,00                             | \$ 450.000          | \$ -                           | \$ -                         |
| Circuito de refrigeración                      | 11B5             | Fuga de refrigerante.   | C          | 0%                  | 10,00                            | \$ 1.000.000        | \$ -                           | \$ -                         |
| Tarjeta de control                             | 11B6             | Punto de tarjeta de control del compresor quemado.                          | C          | 0%                  | 6,00                             | \$ 3.000.000        | \$ -                           | \$ -                         |
| Tarjeta de control                             | 11B7             | Fusible de control del compresor quemado.                                   | C          | 5%                  | -                                | \$ 3.000            | \$ -                           | \$ 150                       |
| Filtros  | 11C1             | Filtro sucio.   | SC         | 0%                  | 5,00                             | \$ 55.000           | \$ -                           | \$ -                         |
| Serpentín evaporador                           | 11C2             | Serpentín del evaporador sucio.   | NC         | 0%                  | -                                | \$ -                | 0                              | 0                            |
| <b>TOTAL</b>                                   |                  |   |            |                     |                                  |                     | \$ -                           | \$ 150                       |

Tabla 97: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 3, Equipo de Precisión A320-2.

| E. de Precisión B787                           |                  |   |            |                     |                                  |                     |                                |                              |
|--|------------------|---|------------|---------------------|----------------------------------|---------------------|--------------------------------|------------------------------|
| Sub-Sistema o Componente                       | N° Modo de Falla | Modo de Falla   | Criticidad | Frecuencia de Falla | Tiempo de Parada Simulador (hrs) | Costo de Reparación | Costo de Ineficiencia Esperado | Costo de Reparación Esperado |
| Contactores del ventilador de impulsión        | 11A1             | Cortocircuito en bobinas del contactor del ventilador de impulsión.         | NC         | 0%                  | 4,00                             | \$ 202.141          | 0                              | 0                            |
| Motor del ventilador de impulsión              | 11A2             | Cortocircuito en bobinas del motor del ventilador de impulsión.             | SC         | 0%                  | 4,00                             | \$ 600.000          | \$ -                           | \$ -                         |
| Contactores del ventilador de impulsión        | 11A3             | Ausencia de señal de control (24V) en contactor de ventilador de impulsión. | C          | 0%                  | 3,00                             | \$ 3.000.000        | \$ -                           | \$ -                         |
| Fusible de control del ventilador de impulsión | 11A4             | Fusible de control del ventilador de impulsión quemado.                     | NC         | 5%                  |                                  | \$ 3.000            | 0                              | 0                            |
| Flow switch                                    | 11A5             | Flow switch descalibrado.   | NC         | 0%                  | 3,00                             | \$ 150.000          | 0                              | 0                            |
| Flow switch                                    | 11A6             | Flow switch sucio.  | NC         | 0%                  | -                                | \$ -                | 0                              | 0                            |
| Tarjeta de control                             | 11A7             | Punto del ventilador de impulsión en tarjeta de control quemado.            | C          | 0%                  | 6,00                             | \$ 3.000.000        | \$ -                           | \$ -                         |
| Variador de frecuencia                         | 11A8             | Falta de voltaje de control en variado                                      | NC         | 0%                  | 2,00                             | 27000               | 0                              | 0                            |
| Contactores del compresor                      | 11B1             | Bobina de contactor del compresor en cortocircuito.                         | NC         | 0%                  | 4,00                             | \$ 213.886          | 0                              | 0                            |
| Serpentín condensador                          | 11B2             | Serpentín de condensador sucio.   | NC         | 0%                  | 2,00                             | \$ 12.000           | 0                              | 0                            |
| Contactador ventilador de condensado           | 11B3             | Bobina de contactor de ventilador de condensado quemada.                    | NC         | 0%                  | 4,00                             | \$ 206.910          | 0                              | 0                            |
| Contactador ventilador de condensado           | 11B4             | Bobina de motor de ventilador de condensado quemada.                        | SC         | 0%                  | 6,00                             | \$ 450.000          | \$ -                           | \$ -                         |
| Circuito de refrigeración                      | 11B5             | Fuga de refrigerante.   | C          | 0%                  | 10,00                            | \$ 1.000.000        | \$ -                           | \$ -                         |
| Tarjeta de control                             | 11B6             | Punto de tarjeta de control del compresor quemado.                          | C          | 0%                  | 6,00                             | \$ 3.000.000        | \$ -                           | \$ -                         |
| Tarjeta de control                             | 11B7             | Fusible de control del compresor quemado.                                   | C          | 5%                  | -                                | \$ 3.000            | \$ -                           | \$ 150                       |
| Filtros  | 11C1             | Filtro sucio.   | SC         | 0%                  | 5,00                             | \$ 55.000           | \$ -                           | \$ -                         |
| Serpentín evaporador                           | 11C2             | Serpentín del evaporador sucio.   | NC         | 0%                  | 5,00                             | \$ -                | 0                              | 0                            |
| <b>TOTAL</b>                                   |                  |   |            |                     |                                  |                     | \$ -                           | \$ 150                       |

Tabla 98: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 3, Equipo de Precisión B787.



| Chiller B787                       |                  |  |            |                     |                                  |                     |                                |                              |
|------------------------------------|------------------|--|------------|---------------------|----------------------------------|---------------------|--------------------------------|------------------------------|
| Sub-Sistema o Componente           | N° Modo de Falla | Modo de Falla  | Criticidad | Frecuencia de Falla | Tiempo de Parada Simulador (hrs) | Costo de Reparación | Costo de Ineficiencia Esperado | Costo de Reparación Esperado |
| Compresores                        | 1.1. 1A1         | Bobina de compresor quemada.   | C          | 0%                  | -                                | \$ 5.153.000        | \$ -                           | \$ -                         |
| Compresores                        | 1.1. 1A2         | Pérdida de rendimiento del compresor.  | C          | 0%                  | -                                | \$ 5.153.000        | \$ -                           | \$ -                         |
| Contactores de compresores         | 1.2. 1A1         | Pérdida de señal de control.   | C          | 0%                  | -                                | \$ 1.713.886        | \$ -                           | \$ -                         |
| Contactores de compresores         | 1.2. 1A2         | Falta de reapriete de borneras.  | SC         | 0%                  | -                                | \$ 3.643.964        | \$ -                           | \$ -                         |
| Contactores de compresores         | 1.2. 1A3         | Desgaste mecánico del contactor del compresor.   | SC         | 5%                  | -                                | \$ 213.886          | \$ -                           | \$ 10.694                    |
| Contactores de compresores         | 1.2. 1A4         | Contactador funcionando a dos fases.   | SC         | 0%                  | -                                | \$ 213.886          | \$ -                           | \$ -                         |
| Contactador ventilador condensador | 1.3. 1A1         | Falla de punto en tarjeta de control.  | C          | 0%                  | -                                | \$ 206.910          | \$ -                           | \$ -                         |
| Contactador ventilador condensador | 1.3. 1A2         | Motor de ventilador quemado.   | SC         | 0%                  | -                                | \$ 450.000          | \$ -                           | \$ -                         |
| Contactador ventilador condensador | 1.3. 1A3         | Bobina de contactor quemada.   | SC         | 0%                  | -                                | \$ 206.910          | \$ -                           | \$ -                         |
| Contactador ventilador condensador | 1.3. 1A4         | Desgaste mecánico del contactor del ventilador condensador.  | SC         | 0%                  | -                                | \$ 206.910          | \$ -                           | \$ -                         |
| Contactador bomba de agua          | 1.4. 1A1         | Falla en punto de tarjeta de control.  | C          | 0%                  | -                                | \$ 1.500.000        | \$ -                           | \$ -                         |
| Contactador bomba de agua          | 1.4. 1A2         | Motor de bomba trabado por acumulación de óxido o sarro.   | NC         | 0%                  | -                                | \$ 450.000          | 0                              | 0                            |
| Contactador bomba de agua          | 1.4. 1A3         | Motor de bomba trabado por acoplamiento interno mal ajustado.  | C          | 0%                  | -                                | \$ 450.000          | \$ -                           | \$ -                         |
| Contactador bomba de agua          | 1.4. 1A4         | Motor de bomba quemado por alta tensión exterior.  | C          | 0%                  | -                                | \$ 450.000          | \$ -                           | \$ -                         |
| Contactador bomba de agua          | 1.4. 1A5         | Motor de bomba quemado por trabajar en vacío (dado que alguna de las válvulas se encuentra cerrada). | C          | 0%                  | -                                | \$ 450.000          | \$ -                           | \$ -                         |
| Contactador bomba de agua          | 1.4. 1A6         | Motor de bomba quemado dado que el sistema se encuentra sin agua.                                    | C          | 0%                  | -                                | \$ 450.000          | \$ -                           | \$ -                         |
| Contactador bomba de agua          | 1.4. 1A7         | Falta de fase en tablero de control (fuerza) del Chiller.  | C          | 0%                  | -                                |                     | \$ -                           | \$ -                         |
| Contactador bomba de agua          | 1.4. 1A8         | Falta de fase externa al Chiller.  | C          | 5%                  | -                                |                     | \$ -                           | \$ -                         |

Tabla 99: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 3, Chiller B787 parte 1.

| Chiller B787                              |                  |   |            |                     |                                  |                     |                                |                              |  |
|---|------------------|---|------------|---------------------|----------------------------------|---------------------|--------------------------------|------------------------------|--|
| Sub-Sistema o Componente                  | N° Modo de Falla | Modo de Falla   | Criticidad | Frecuencia de Falla | Tiempo de Parada Simulador (hrs) | Costo de Reparación | Costo de Ineficiencia Esperado | Costo de Reparación Esperado |  |
| Tarjeta de control                        | 1.5. 1A1         | Fuga de gas refrigerante genera ausencia de señal de presostato de baja presión.    | C          | 0%                  | -                                | \$ 1.000.000        | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Tarjeta de control                        | 1.5. 1A2         | Fuga de aceite y gas refrigerante genera ausencia de señal de presostato de aceite. | C          | 0%                  | -                                | \$ 1.000.000        | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Presostato de alta y baja presión         | 1.6. 1A1         | Presostatos mal calibrados, en corte o desconectados.                               | C          | 0%                  | -                                | \$ 62.273           | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Presostato de aceite                      | 1.7. 1A1         | Presostatos mal calibrados, en corte o desconectados.                               | C          | 0%                  | -                                | \$ 316.716          | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Flow switch                               | 1.8. 1A1         | No hay circulación de agua.   | SC         | 0%                  | -                                | \$ 400.000          | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Flow switch                               | 1.8. 1A2         | Flow switch pegado o aleta de flow switch en mal estado.                            | SC         | 0%                  | -                                | \$ 150.000          | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Manómetros                                | 1.9. 1A1         | Manómetro descalibrado.   | NC         | 0%                  | -                                | \$ 50.000           | 0                              | 0                            |  |
| Termómetros digital y análogo             | 1.10. 1A1        | Termómetro descalibrado.  | SC         | 0%                  | -                                | \$ 40.000           | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Ventilador condensador                    | 1.11. 1A1        | Falta de energía de fuerza en contactor de ventilador.                              | SC         | 5%                  | -                                | \$ 246.223          | \$ -                           | \$ 12.311                    |  |
| Ventilador condensador                    | 1.11. 1A2        | Falta de energía de control en bobina de contactor.                                 | SC         | 5%                  | -                                | \$ 27.150           | \$ -                           | \$ 1.358                     |  |
| Ventilador condensador                    | 1.11. 1A3        | Aspas sueltas, fuera de su lugar o rotas.   | C          | 0%                  | -                                | \$ 1.944.951        | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Serpentín                                 | 1.12. 1A1        | Serpentín sucio.  | SC         | 0%                  | -                                | \$ 12.000           | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Resistencia cárter                        | 1.13. 1A1        | Resistencia de cárter dañada.   | SC         | 0%                  | -                                | \$ 537.650          | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Separador de líquido                      | 1.14. 1A1        | Rotura interna de válvula de expansión.   | SC         | 0%                  | -                                | \$ 192.116          | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Válvula de servicio y succión de descarga | 1.15. 1A1        | Rotura interna de válvula o con restos de escoria.                                  | NC         | 0%                  | -                                | \$ 192.116          | 0                              | 0                            |  |
| Estanque de expansión                     | 1.16. 1A1        | Membrana rota o con poco aire.  | NC         | 0%                  | -                                | \$ 40.000           | 0                              | 0                            |  |
| <b>TOTAL</b>                              |                  |   |            |                     |                                  |                     | \$ -                           | \$ 24.363                    |  |

Tabla 100: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 3, Chiller B787 parte 2.

| UMA Morrison B787                   |                  |   |            |                     |                                  |                     |                                |                              |  |
|-------------------------------------|------------------|---|------------|---------------------|----------------------------------|---------------------|--------------------------------|------------------------------|--|
| Sub-Sistema o Componente            | N° Modo de Falla | Modo de Falla   | Criticidad | Frecuencia de Falla | Tiempo de Parada Simulador (hrs) | Costo de Reparación | Costo de Ineficiencia Esperado | Costo de Reparación Esperado |  |
| Contactador ventilador de impulsión | 1.1. 1A1         | Falta de energía de control en bobina de un contactor (24 V). | C          | 5%                  | 1                                | \$ 202.141          | \$ 18.312                      | \$ 10.107                    |  |
| Contactador ventilador de impulsión | 1.1. 1A2         | Ausencia de una de las fases.                                 | C          | 5%                  | 1                                | \$ 202.141          | \$ 18.312                      | \$ 10.107                    |  |
| Relés de control                    | 1.2. 1A1         | No recibe la señal del sensor de temperatura TE150.           | C          | 0%                  | 1                                | \$ 202.141          | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Relés de control                    | 1.2. 2A1         | No recibe señal del sensor de temperatura.                    | SC         | 0%                  | 1                                | \$ 79.810           | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Filtros                             | 1.3. 1A1         | Filtro sucio.   | C          | 0%                  | 0                                | \$ 60.000           | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Serpentín de agua fría              | 1.4. 1A1         | Serpentín con aire en su interior.                            | SC         | 0%                  | 1                                | \$ -                | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Serpentín de agua fría              | 1.4. 1A2         | Válvula de agua cerrada.                                      | SC         | 0%                  | 1                                | \$ 190.000          | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Ventilador de impulsión             | 1.5. 1A1         | Contactador no acciona.                                       | C          | 5%                  | -                                | \$ -                | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Ventilador de impulsión             | 1.5. 1A2         | Falla en bobinas de motor del ventilador.                     | C          | 0%                  | 20                               | \$ 600.000          | \$ -                           | \$ -                         |  |
| <b>TOTAL</b>                        |                  |   |            |                     |                                  |                     | \$ 36.625                      | \$ 20.214                    |  |

Tabla 101: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 3, UMA Morrison B787.

### 9.3.5. Costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 4.

Esta alternativa contempla:

- Implementar las tareas de mantenimiento.
- Reemplazar serpentín evaporador de compacto Morrison A320-1.
- Homologar eléctricamente compacto Morrison A320-1.
- Instalar puertas aislantes en bahías de simuladores A320-1 y A320-2.
- Realizar análisis de dureza de aguas y cambiar cañerías de torres de enfriamiento.
- Instalar un equipo de back up (respaldo) para compacto Morrison A320-2.

En la Tabla 102 se presenta el resumen de los costos de ineficiencia y reparación estimados para la alternativa 4. En las Tablas 103 a 113 se presenta el detalle de los costos de ineficiencia y reparación para cada modo de falla.

| Equipo                                 | Costo Ineficiencia Esperado | Costo Reparación Esperado | Total               |
|--|-----------------------------|---------------------------|---------------------|
| Compacto Morrison A3201                | \$ 54.937                   | \$ 36.249                 | \$ 91.186           |
| Compacto Morrison A3202                | \$ 54.937                   | \$ 36.249                 | \$ 91.186           |
| Compacto de Emergencia A320-1          | \$ -                        | \$ 36.242                 | \$ 36.242           |
| Compactos Salas HPU y Bahías           | \$ -                        | \$ 45.428                 | \$ 45.428           |
| Equipo de Precisión A320-1             | \$ -                        | \$ 450                    | \$ 450              |
| Torres de Enfriamiento A320-1 y A320-2 | \$ 741.652                  | \$ 70.350                 | \$ 812.002          |
| Chiller B787                           | \$ 146.499                  | \$ 48.726                 | \$ 195.225          |
| UMA Morrison B787                      | \$ 183.124                  | \$ 20.214                 | \$ 203.338          |
| <b>TOTAL</b>                           | <b>\$ 1.181.150</b>         | <b>\$ 293.908</b>         | <b>\$ 1.475.057</b> |

Tabla 102: Resumen de costos de ineficiencia y reparación estimados para alternativa 4.

| Compacto Morrison A320-1   |                  |   |            |                     |                                  |                     |                                |                              |
|----------------------------|------------------|---|------------|---------------------|----------------------------------|---------------------|--------------------------------|------------------------------|
| Sub-Sistema o Componente   | N° Modo de Falla | Modo de Falla   | Criticidad | Frecuencia de Falla | Tiempo de Parada Simulador (hrs) | Costo de Reparación | Costo de Ineficiencia Esperado | Costo de Reparación Esperado |
| Filtros                    | 1.1. 1A1         | Filtro sucio.   | C          | 0%                  | 1,5                              | \$ 20.000           | \$ -                           | \$ -                         |
| Serpentín evaporador       | 1.2. 1A1         | Serpentín congelado o tapado.   | C          | 0%                  | 1,5                              | \$ 600.000          | \$ -                           | \$ -                         |
| Serpentín evaporador       | 1.2. 1A2         | Fuga de refrigerante.   | C          | 0%                  | 1,5                              | \$ 600.000          | \$ -                           | \$ -                         |
| Ventilador de impulsión    | 1.3. 1A1         | Contacto en falla.  | C          | 5%                  |                                  |                     | \$ -                           | \$ -                         |
| Ventilador de impulsión    | 1.3. 1A2         | Pérdida de aislación en bobinas de motor del ventilador.  | C          | 0%                  | 20                               | \$ 600.000          | \$ -                           | \$ -                         |
| Compresor                  | 1.4. 1A1         | Bajo voltaje por aumento de corriente.  | C          | 0%                  | 1,5                              | \$ 4.081.000        | \$ -                           | \$ -                         |
| Compresor                  | 1.4. 1A2         | Bobinas de compresor dañadas por sobre voltaje.   | C          | 0%                  | 1,5                              | \$ 4.081.000        | \$ -                           | \$ -                         |
| Compresor                  | 1.4. 1A3         | Sobrecalentamiento del compresor por falta de refrigerante.   | C          | 0%                  | 1,5                              |                     | \$ -                           | \$ -                         |
| Ventiladores de condensado | 1.5. 1A1         | Contacto en falla.  | C          | 5%                  |                                  |                     | \$ -                           | \$ -                         |
| Ventiladores de condensado | 1.5. 1A2         | Embobinado de motor en cortocircuito.   | C          | 0%                  | 1,5                              | \$ 500.000          | \$ -                           | \$ -                         |
| Serpentín Condensador      | 1.6. 1A1         | Fuga de refrigerante.   | C          | 0%                  | 1,5                              | \$ 600.000          | \$ -                           | \$ -                         |
| Serpentín Condensador      | 1.6. 1A2         | Condensador obstruido.  | C          | 0%                  | 1,5                              | \$ 12.000           | \$ -                           | \$ -                         |
| Presostato de alta presión | 1.7. 1A1         | Sobrecalentamiento, pérdida de vida útil, problemas en el bi-metal, falta de señal de control 24V.      | C          | 0%                  | 1,5                              | \$ 1.000.000        | \$ -                           | \$ -                         |
| Presostato de baja presión | 1.8. 1A1         | Presostato descalibrado, pérdida de vida útil, problemas en el bi-metal, falta de señal de control 24V. | C          | 0%                  | 1,5                              | \$ 97.182           | \$ -                           | \$ -                         |
| Presostato de baja presión | 1.8. 1A2         | Cortocircuito en línea de alimentación.   | C          | 0%                  | 1,5                              | \$ 97.182           | \$ -                           | \$ -                         |
| Contactores                | 1.9. 1A1         | Falta de energía de control en bobina de un contactor (24V).  | C          | 5%                  | 1,5                              | \$ 362.488          | \$ 27.469                      | \$ 18.124                    |
| Contactores                | 1.9. 1A2         | Ausencia de una de las fases.   | C          | 5%                  | 1,5                              | \$ 362.488          | \$ 27.469                      | \$ 18.124                    |
| Relés (Tarjeta de control) | 1.10. 1A1        | No recibe señal de los sensores de temperatura.   | C          | 0%                  | 1,5                              | \$ 1.000.000        | \$ -                           | \$ -                         |
| <b>TOTAL</b>               |                  |   |            |                     |                                  |                     | <b>\$ 54.937</b>               | <b>\$ 36.249</b>             |

Tabla 103: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 4, Compacto Morrison A320-1.

| Compacto Morrison A320-2   |                  |   |            |                     |                                  |                     |                                |                              |
|----------------------------|------------------|---|------------|---------------------|----------------------------------|---------------------|--------------------------------|------------------------------|
| Sub-Sistema o Componente   | N° Modo de Falla | Modo de Falla   | Criticidad | Frecuencia de Falla | Tiempo de Parada Simulador (hrs) | Costo de Reparación | Costo de Ineficiencia Esperado | Costo de Reparación Esperado |
| Filtros                    | 1.1. 1A1         | Filtro sucio.   | C          | 0%                  | 1,5                              | \$ 20.000           | \$ -                           | \$ -                         |
| Serpentín evaporador       | 1.2. 1A1         | Serpentín congelado o tapado.   | C          | 0%                  | 1,5                              | \$ 600.000          | \$ -                           | \$ -                         |
| Serpentín evaporador       | 1.2. 1A2         | Fuga de refrigerante.   | C          | 0%                  | 1,5                              | \$ 600.000          | \$ -                           | \$ -                         |
| Ventilador de impulsión    | 1.3. 1A1         | Contacto en falla.  | C          | 5%                  |                                  |                     | \$ -                           | \$ -                         |
| Ventilador de impulsión    | 1.3. 1A2         | Pérdida de aislación en bobinas de motor del ventilador.  | C          | 0%                  | 20                               | \$ 600.000          | \$ -                           | \$ -                         |
| Compresor                  | 1.4. 1A1         | Bajo voltaje por aumento de corriente.  | C          | 0%                  | 1,5                              | \$ 4.081.000        | \$ -                           | \$ -                         |
| Compresor                  | 1.4. 1A2         | Bobinas de compresor dañadas por sobre voltaje.   | C          | 0%                  | 1,5                              | \$ 4.081.000        | \$ -                           | \$ -                         |
| Compresor                  | 1.4. 1A3         | Sobrecalentamiento del compresor por falta de refrigerante.   | C          | 0%                  |                                  |                     | \$ -                           | \$ -                         |
| Ventiladores de condensado | 1.5. 1A1         | Contacto en falla.  | C          | 5%                  |                                  |                     | \$ -                           | \$ -                         |
| Ventiladores de condensado | 1.5. 1A2         | Embobinado de motor en cortocircuito.   | C          | 0%                  | 1,5                              | \$ 500.000          | \$ -                           | \$ -                         |
| Serpentín Condensador      | 1.6. 1A1         | Fuga de refrigerante.   | C          | 0%                  | 1,5                              | \$ 600.000          | \$ -                           | \$ -                         |
| Serpentín Condensador      | 1.6. 1A2         | Condensador obstruido.  | C          | 0%                  | 1,5                              | \$ 12.000           | \$ -                           | \$ -                         |
| Presostato de alta presión | 1.7. 1A1         | Sobrecalentamiento, pérdida de vida útil, problemas en el bi-metal, falta de señal de control 24V.      | C          | 0%                  | 1,5                              | \$ 1.000.000        | \$ -                           | \$ -                         |
| Presostato de baja presión | 1.8. 1A1         | Presostato descalibrado, pérdida de vida útil, problemas en el bi-metal, falta de señal de control 24V. | C          | 0%                  | 1,5                              | \$ 97.182           | \$ -                           | \$ -                         |
| Presostato de baja presión | 1.8. 1A2         | Cortocircuito en línea de alimentación.   | C          | 0%                  | 1,5                              | \$ 97.182           | \$ -                           | \$ -                         |
| Contactores                | 1.9. 1A1         | Falta de energía de control en bobina de un contactor (24V).  | C          | 5%                  | 1,5                              | \$ 362.488          | \$ 27.469                      | \$ 18.124                    |
| Contactores                | 1.9. 1A2         | Ausencia de una de las fases.   | C          | 5%                  | 1,5                              | \$ 362.488          | \$ 27.469                      | \$ 18.124                    |
| Relés (Tarjeta de control) | 1.10. 1A1        | No recibe señal de los sensores de temperatura.   | C          | 0%                  | 1,5                              | \$ 1.000.000        | \$ -                           | \$ -                         |
| <b>TOTAL</b>               |                  |   |            |                     |                                  |                     | \$ 54.937                      | \$ 36.249                    |

Tabla 104: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 4, Compacto Morrison A320-2.

| Compacto de Emergencia     |                  |   |            |                     |                                  |                     |                                |                              |  |
|----------------------------|------------------|---|------------|---------------------|----------------------------------|---------------------|--------------------------------|------------------------------|--|
| Sub-Sistema o Componente   | N° Modo de Falla | Modo de Falla   | Criticidad | Frecuencia de Falla | Tiempo de Parada Simulador (hrs) | Costo de Reparación | Costo de Ineficiencia Esperado | Costo de Reparación Esperado |  |
| Filtros                    | 1.1. 1A1         | Filtro sucio.   | C          | 0%                  | -                                | \$ 60.000           | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Serpentín evaporador       | 1.2. 1A1         | Serpentín congelado o tapado.   | C          | 0%                  | -                                | \$ 70.200           | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Serpentín evaporador       | 1.2. 1A2         | Fuga de refrigerante.   | C          | 0%                  | -                                | \$ 600.000          | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Ventilador de impulsión    | 1.3. 1A1         | Contactora en falla.  | C          | 5%                  | -                                |                     | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Ventilador de impulsión    | 1.3. 1A2         | Pérdida de aislación en bobinas de motor del ventilador.  | C          | 0%                  | -                                | \$ 300.000          | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Compresor                  | 1.4. 1A1         | Bajo voltaje por aumento de corriente.  | C          | 0%                  | -                                | \$ 4.081.792        | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Compresor                  | 1.4. 1A2         | Bobinas de compresor dañadas por sobre voltaje.   | C          | 0%                  | -                                | \$ 4.081.792        | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Compresor                  | 1.4. 1A3         | Sobrecalentamiento del compresor por falta de refrigerante.   | C          | 0%                  | -                                |                     | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Ventiladores de condensado | 1.5. 1A1         | Contactora en falla.  | C          | 5%                  | -                                |                     | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Ventiladores de condensado | 1.5. 1A2         | Embobinado de motor en cortocircuito.   | C          | 0%                  | -                                | \$ 250.000          | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Serpentín Condensador      | 1.6. 1A1         | Fuga de refrigerante.   | C          | 0%                  | -                                | \$ 600.000          | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Serpentín Condensador      | 1.6. 1A2         | Condensador obstruido.  | SC         | 0%                  | -                                | \$ 12.000           | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Presostato de alta presión | 1.7. 1A1         | Sobrecalentamiento, pérdida de vida útil, problemas en el bi-metal, falta de señal de control 24V.      | C          | 0%                  | -                                | \$ 1.000.000        | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Presostato de baja presión | 1.8. 1A1         | Presostato descalibrado, pérdida de vida útil, problemas en el bi-metal, falta de señal de control 24V. | C          | 0%                  | -                                | \$ 167.000          | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Presostato de baja presión | 1.8. 1A2         | Cortocircuito en línea de alimentación.   | C          | 0%                  | -                                | \$ 167.000          | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Contactores                | 1.9. 1A1         | Falta de energía de control en bobina de un contactor (24V).  | C          | 5%                  | -                                | \$ 362.418          | \$ -                           | \$ 18.121                    |  |
| Contactores                | 1.9. 1A2         | Ausencia de una de las fases.   | C          | 5%                  | -                                | \$ 362.418          | \$ -                           | \$ 18.121                    |  |
| Termostato ambiente        | 1.10. 1A1        | No recibe señal de los sensores de temperatura.   | SC         | 0%                  | -                                | \$ 40.000           | \$ -                           | \$ -                         |  |
| <b>TOTAL</b>               |                  |   |            |                     |                                  |                     | \$ -                           | \$ 36.242                    |  |

Tabla 105: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 4, Compacto de Emergencia.

| Compactos Salas HPU y Bahías |                  |  |            |                     |                                  |                     |                                |                              |  |
|------------------------------|------------------|--|------------|---------------------|----------------------------------|---------------------|--------------------------------|------------------------------|--|
| Sub-Sistema o Componente     | N° Modo de Falla | Modo de Falla  | Criticidad | Frecuencia de Falla | Tiempo de Parada Simulador (hrs) | Costo de Reparación | Costo de Ineficiencia Esperado | Costo de Reparación Esperado |  |
| Termostato ambiente          | 1.1. 1A1         | Falta de energía en bobina de un contactor.  | NC         | 0%                  | -                                | \$ 40.000           | \$ -                           | 0                            |  |
| Filtros                      | 1.2. 1A1         | Filtro sucio.  | SC         | 0%                  | -                                | \$ 19.125           | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Serpentín evaporador         | 1.3. 1A1         | Serpentín congelado.   | NC         | 0%                  | -                                | \$ 70.200           | \$ -                           | 0                            |  |
| Serpentín evaporador         | 1.3. 1A2         | Fuga de refrigerante.  | SC         | 0%                  | -                                | \$ 540.000          | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Ventilador de impulsión      | 1.4. 1A1         | Falta de energía de control en bobina de contactor.                                  | SC         | 0%                  | -                                | \$ 300.000          | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Ventilador de impulsión      | 1.4. 1A2         | Motor de ventilador en falla.  | NC         | 0%                  | -                                | \$ 300.000          | \$ -                           | 0                            |  |
| Ventilador de impulsión      | 1.4. 1A3         | Correa de ventilador cortada.  | SC         | 0%                  | -                                | \$ 22.000           | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Compresores                  | 1.5. 1A1         | Bajo voltaje por aumento de corriente, calentamiento o daño en aislación de bobinas. | C          | 0%                  | -                                | \$ 1.637.686        | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Compresores                  | 1.5. 1A2         | Sobrecalentamiento del compresor por falta de refrigerante.                          | C          | 0%                  | -                                | \$ 70.200           | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Ventilador de condensado     | 1.6. 1A1         | Contacto en falla por falta de energía de control en bobina de contactor.            | SC         | 0%                  | -                                | \$ 250.000          | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Serpentín condensador        | 1.7. 1A1         | Fuga de refrigerante.  | NC         | 0%                  | -                                | \$ 540.000          | \$ -                           | 0                            |  |
| Serpentín condensador        | 1.7. 1A2         | Condensador obstruido.   | SC         | 0%                  | -                                | \$ 12.000           | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Presostato de alta presión   | 1.8. 1A1         | Sobrecalentamiento.  | C          | 0%                  | -                                | \$ 284.968          | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Presostato de baja presión   | 1.9. 1A1         | Fuga de refrigerante.  | C          | 0%                  | -                                | \$ 167.039          | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Contactores                  | 1.10. 1A1        | Falta de energía de control en bobina de contactor.                                  | SC         | 5%                  | -                                | \$ 202.141          | \$ -                           | \$ 10.107,05                 |  |
| Contactores                  | 1.10. 1A2        | Ausencia de una de las fases.  | NC         | 5%                  | -                                | \$ 39.000           | \$ -                           | 0                            |  |
| Contactores                  | 1.10. 1A3        | Caída del automático del equipo.   | SC         | 5%                  | -                                | \$ 25.000           | \$ -                           | \$ 1.250,00                  |  |
| <b>TOTAL</b>                 |                  |  |            |                     |                                  |                     | \$ -                           | \$ 11.357,05                 |  |

Tabla 106: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 4, Compactos bahías y salas HPU.

| Torres Enfriamiento              |                  |  |            |                     |                                  |                     |                                |                              |  |
|----------------------------------|------------------|--|------------|---------------------|----------------------------------|---------------------|--------------------------------|------------------------------|--|
| Sub-Sistema o Componente         | N° Modo de Falla | Modo de Falla  | Criticidad | Frecuencia de Falla | Tiempo de Parada Simulador (hrs) | Costo de Reparación | Costo de Ineficiencia Esperado | Costo de Reparación Esperado |  |
| Contactores                      | 1.1. 1A1         | Falta de energía de control en bobina de un contactor.                                   | C          | 5%                  | 4,00                             | \$ 130.000          | \$ 73.250                      | \$ 6.500                     |  |
| Contactores                      | 1.1. 1A2         | Ausencia de una de las fases.  |            | 5%                  | 4,00                             | \$ 39.000           | \$ 73.250                      | \$ 1.950                     |  |
| Contactores                      | 1.1. 1A3         | Caída del automático por ausencia de 380V, exceso de corriente o aumento de temperatura. | C          | 5%                  | 4,00                             | \$ 300.000          | \$ 73.250                      | \$ 15.000                    |  |
| Filtros de agua                  | 1.2. 1A1         | Filtro sucio.  | SC         | 0%                  | 3,00                             | \$ 65.000           | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Ventilador torre de enfriamiento | 1.3. 1A1         | Contacto en falla por falta de energía de control en bobina de contactor.                | -          | 5%                  |                                  | \$ -                | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Ventilador torre de enfriamiento | 1.3. 1A2         | Motor de ventilador en falla.  | C          | 0%                  | 8,00                             | \$ 300.000          | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Bombas de agua                   | 1.4. 1A1         | Contacto en falla por falta de energía de control en bobina de contactor (220V).         | C          | 5%                  | 1,50                             | \$ -                | \$ 27.469                      | \$ -                         |  |
| Bombas de agua                   | 1.4. 1A2         | Motor de la bomba en falla.  | C          | 0%                  | 1,50                             | \$ 700.000          | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Cañerías y llaves de agua        | 1.5. 1A1         | Llaves de agua cerradas.   | C          | 0%                  | 3,00                             | \$ 450.000          | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Cañerías y llaves de agua        | 1.5. 1A2         | Deterioro de cañerías y llaves.  | C          | 0%                  | 3,00                             | \$ -                | \$ -                           | \$ -                         |  |
| <b>TOTAL</b>                     |                  |  |            |                     |                                  |                     | \$ 247.217                     | \$ 23.450                    |  |

Tabla 107: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 4, Torres de enfriamiento.

| E. Precisión A320-1                            |                  |   |            |                     |                                  |                     |                                |                              |
|--|------------------|---|------------|---------------------|----------------------------------|---------------------|--------------------------------|------------------------------|
| Sub-Sistema o Componente                       | N° Modo de Falla | Modo de Falla   | Criticidad | Frecuencia de Falla | Tiempo de Parada Simulador (hrs) | Costo de Reparación | Costo de Ineficiencia Esperado | Costo de Reparación Esperado |
| Contactores del ventilador de impulsión        | 11A1             | Cortocircuito en bobinas del contactor del ventilador de impulsión.         | NC         | 5%                  | 4,00                             | \$ 202.141          | 0                              | 0                            |
| Motor del ventilador de impulsión              | 11A2             | Cortocircuito en bobinas del motor del ventilador de impulsión.             | SC         | 0%                  | 4,00                             | \$ 600.000          | \$ -                           | \$ -                         |
| Contactores del ventilador de impulsión        | 11A3             | Ausencia de señal de control (24V) en contactor de ventilador de impulsión. | C          | 0%                  | 3,00                             | \$ 3.000.000        | \$ -                           | \$ -                         |
| Fusible de control del ventilador de impulsión | 11A4             | Fusible de control del ventilador de impulsión quemado.                     | NC         | 5%                  | -                                | \$ 3.000            | 0                              | 0                            |
| Flow switch                                    | 11A5             | Flow switch descalibrado.   | NC         | 0%                  | 3,00                             | \$ 150.000          | 0                              | 0                            |
| Flow switch                                    | 11A6             | Flow switch sucio.  | NC         | 0%                  | -                                | \$ -                | 0                              | 0                            |
| Tarjeta de control                             | 11A7             | Punto del ventilador de impulsión en tarjeta de control quemado.            | C          | 0%                  | 6,00                             | \$ 3.000.000        | \$ -                           | \$ -                         |
| Correa del ventilador de impulsión             | 11A8             | Correa del ventilador de impulsión cortada.                                 | NC         | 0%                  | -                                | \$ 12.000           | 0                              | 0                            |
| Contactores del compresor                      | 11B1             | Bobina de contactor del compresor en cortocircuito.                         | NC         | 0%                  | 4,00                             | \$ 213.886          | 0                              | 0                            |
| Serpentín condensador                          | 11B2             | Serpentín de condensador sucio.   | NC         | 0%                  | 2,00                             | \$ 12.000           | 0                              | 0                            |
| Contactador ventilador de condensado           | 11B3             | Bobina de contactor de ventilador de condensado quemada.                    | NC         | 0%                  | 4,00                             | \$ 206.910          | 0                              | 0                            |
| Contactador ventilador de condensado           | 11B4             | Bobina de motor de ventilador de condensado quemada.                        | SC         | 0%                  | 6,00                             | \$ 450.000          | \$ -                           | \$ -                         |
| Circuito de refrigeración                      | 11B5             | Fuga de refrigerante.   | C          | 0%                  | 10,00                            | \$ 1.000.000        | \$ -                           | \$ -                         |
| Tarjeta de control                             | 11B6             | Punto de tarjeta de control del compresor quemado.                          | C          | 0%                  | 6,00                             | \$ 3.000.000        | \$ -                           | \$ -                         |
| Tarjeta de control                             | 11B7             | Fusible de control del compresor quemado.                                   | C          | 5%                  | -                                | \$ 3.000            | \$ -                           | \$ 150                       |
| Correas del ventilador de impulsión            | 11C1             | Correas del ventilador de impulsión sueltas                                 | NC         | 5%                  | -                                | \$ -                | 0                              | 0                            |
| Filtro   | 11C2             | Filtro sucio.   | SC         | 0%                  | 5,00                             | \$ 55.000           | \$ -                           | \$ -                         |
| Serpentín evaporador                           | 11C3             | Serpentín del evaporador sucio.   | NC         | 0%                  | -                                | \$ -                | 0                              | 0                            |
| <b>TOTAL</b>                                   |                  |   |            |                     |                                  |                     | \$ -                           | \$ 150                       |

Tabla 108: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 4, Equipo de Precisión A320-1.



| E. Precisión A320-2                            |                  |   |            |                     |                                  |                     |                                |                              |
|--|------------------|---|------------|---------------------|----------------------------------|---------------------|--------------------------------|------------------------------|
| Sub-Sistema o Componente                       | N° Modo de Falla | Modo de Falla   | Criticidad | Frecuencia de Falla | Tiempo de Parada Simulador (hrs) | Costo de Reparación | Costo de Ineficiencia Esperado | Costo de Reparación Esperado |
| Contactores del ventilador de impulsión        | 11A1             | Cortocircuito en bobinas del contactor del ventilador de impulsión.         | NC         | 0%                  | 4,00                             | \$ 202.141          | 0                              | 0                            |
| Motor del ventilador de impulsión              | 11A2             | Cortocircuito en bobinas del motor del ventilador de impulsión.             | SC         | 0%                  | 4,00                             | \$ 600.000          | \$ -                           | \$ -                         |
| Contactores del ventilador de impulsión        | 11A3             | Ausencia de señal de control (24V) en contactor de ventilador de impulsión. | C          | 0%                  | 3,00                             | \$ 3.000.000        | \$ -                           | \$ -                         |
| Fusible de control del ventilador de impulsión | 11A4             | Fusible de control del ventilador de impulsión quemado.                     | NC         | 5%                  | -                                | \$ 3.000            | 0                              | 0                            |
| Flow switch                                    | 11A5             | Flow switch descalibrado.   | NC         | 0%                  | 3,00                             | \$ 150.000          | 0                              | 0                            |
| Flow switch                                    | 11A6             | Flow switch sucio.  | NC         | 0%                  | -                                | \$ -                | 0                              | 0                            |
| Tarjeta de control                             | 11A7             | Punto del ventilador de impulsión en tarjeta de control quemado.            | C          | 0%                  | 6,00                             | \$ 3.000.000        | \$ -                           | \$ -                         |
| Contactores del compresor                      | 11B1             | Bobina de contactor del compresor en cortocircuito.                         | NC         | 0%                  | 4,00                             | \$ 213.886          | 0                              | 0                            |
| Serpentín condensador                          | 11B2             | Serpentín de condensador sucio.   | NC         | 0%                  | 2,00                             | \$ 12.000           | 0                              | 0                            |
| Contactador ventilador de condensado           | 11B3             | Bobina de contactor de ventilador de condensado quemada.                    | NC         | 0%                  | 4,00                             | \$ 206.910          | 0                              | 0                            |
| Contactador ventilador de condensado           | 11B4             | Bobina de motor de ventilador de condensado quemada.                        | SC         | 0%                  | 6,00                             | \$ 450.000          | \$ -                           | \$ -                         |
| Circuito de refrigeración                      | 11B5             | Fuga de refrigerante.   | C          | 0%                  | 10,00                            | \$ 1.000.000        | \$ -                           | \$ -                         |
| Tarjeta de control                             | 11B6             | Punto de tarjeta de control del compresor quemado.                          | C          | 0%                  | 6,00                             | \$ 3.000.000        | \$ -                           | \$ -                         |
| Tarjeta de control                             | 11B7             | Fusible de control del compresor quemado.                                   | C          | 5%                  | -                                | \$ 3.000            | \$ -                           | \$ 150                       |
| Filtros  | 11C1             | Filtro sucio.   | SC         | 0%                  | 5,00                             | \$ 55.000           | \$ -                           | \$ -                         |
| Serpentín evaporador                           | 11C2             | Serpentín del evaporador sucio.   | NC         | 0%                  | -                                | \$ -                | 0                              | 0                            |
| <b>TOTAL</b>                                   |                  |   |            |                     |                                  |                     | \$ -                           | \$ 150                       |

Tabla 109: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 4, Equipo de Precisión A320-2.

| E. de Precisión B787                           |                  |   |            |                     |                                  |                     |                                |                              |
|--|------------------|---|------------|---------------------|----------------------------------|---------------------|--------------------------------|------------------------------|
| Sub-Sistema o Componente                       | N° Modo de Falla | Modo de Falla   | Criticidad | Frecuencia de Falla | Tiempo de Parada Simulador (hrs) | Costo de Reparación | Costo de Ineficiencia Esperado | Costo de Reparación Esperado |
| Contactores del ventilador de impulsión        | 11A1             | Cortocircuito en bobinas del contactor del ventilador de impulsión.         | NC         | 0%                  | 4,00                             | \$ 202.141          | 0                              | 0                            |
| Motor del ventilador de impulsión              | 11A2             | Cortocircuito en bobinas del motor del ventilador de impulsión.             | SC         | 0%                  | 4,00                             | \$ 600.000          | \$ -                           | \$ -                         |
| Contactores del ventilador de impulsión        | 11A3             | Ausencia de señal de control (24V) en contactor de ventilador de impulsión. | C          | 0%                  | 3,00                             | \$ 3.000.000        | \$ -                           | \$ -                         |
| Fusible de control del ventilador de impulsión | 11A4             | Fusible de control del ventilador de impulsión quemado.                     | NC         | 5%                  |                                  | \$ 3.000            | 0                              | 0                            |
| Flow switch                                    | 11A5             | Flow switch descalibrado.   | NC         | 0%                  | 3,00                             | \$ 150.000          | 0                              | 0                            |
| Flow switch                                    | 11A6             | Flow switch sucio.  | NC         | 0%                  | -                                | \$ -                | 0                              | 0                            |
| Tarjeta de control                             | 11A7             | Punto del ventilador de impulsión en tarjeta de control quemado.            | C          | 0%                  | 6,00                             | \$ 3.000.000        | \$ -                           | \$ -                         |
| Variador de frecuencia                         | 11A8             | Falta de voltaje de control en variado                                      | NC         | 0%                  | 2,00                             | 27000               | 0                              | 0                            |
| Contactores del compresor                      | 11B1             | Bobina de contactor del compresor en cortocircuito.                         | NC         | 0%                  | 4,00                             | \$ 213.886          | 0                              | 0                            |
| Serpentín condensador                          | 11B2             | Serpentín de condensador sucio.   | NC         | 0%                  | 2,00                             | \$ 12.000           | 0                              | 0                            |
| Contactador ventilador de condensado           | 11B3             | Bobina de contactor de ventilador de condensado quemada.                    | NC         | 0%                  | 4,00                             | \$ 206.910          | 0                              | 0                            |
| Contactador ventilador de condensado           | 11B4             | Bobina de motor de ventilador de condensado quemada.                        | SC         | 0%                  | 6,00                             | \$ 450.000          | \$ -                           | \$ -                         |
| Circuito de refrigeración                      | 11B5             | Fuga de refrigerante.   | C          | 0%                  | 10,00                            | \$ 1.000.000        | \$ -                           | \$ -                         |
| Tarjeta de control                             | 11B6             | Punto de tarjeta de control del compresor quemado.                          | C          | 0%                  | 6,00                             | \$ 3.000.000        | \$ -                           | \$ -                         |
| Tarjeta de control                             | 11B7             | Fusible de control del compresor quemado.                                   | C          | 5%                  | -                                | \$ 3.000            | \$ -                           | \$ 150                       |
| Filtros  | 11C1             | Filtro sucio.   | SC         | 0%                  | 5,00                             | \$ 55.000           | \$ -                           | \$ -                         |
| Serpentín evaporador                           | 11C2             | Serpentín del evaporador sucio.   | NC         | 0%                  | 5,00                             | \$ -                | 0                              | 0                            |
| <b>TOTAL</b>                                   |                  |   |            |                     |                                  |                     | \$ -                           | \$ <b>150</b>                |

Tabla 110: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 4, Equipo de Precisión B787.

| Chiller B787                       |                  |  |            |                     |                                  |                     |                                |                              |
|------------------------------------|------------------|--|------------|---------------------|----------------------------------|---------------------|--------------------------------|------------------------------|
| Sub-Sistema o Componente           | N° Modo de Falla | Modo de Falla  | Criticidad | Frecuencia de Falla | Tiempo de Parada Simulador (hrs) | Costo de Reparación | Costo de Ineficiencia Esperado | Costo de Reparación Esperado |
| Compresores                        | 1.1. 1A1         | Bobina de compresor quemada.   | C          | 0%                  | 1                                | \$ 5.153.000        | \$ -                           | \$ -                         |
| Compresores                        | 1.1. 1A2         | Pérdida de rendimiento del compresor.  | C          | 0%                  | 1                                | \$ 5.153.000        | \$ -                           | \$ -                         |
| Contactores de compresores         | 1.2. 1A1         | Pérdida de señal de control.   | C          | 0%                  | 1                                | \$ 1.713.886        | \$ -                           | \$ -                         |
| Contactores de compresores         | 1.2. 1A2         | Falta de reapriete de borneras.  | SC         | 0%                  | 1                                | \$ 3.643.964        | \$ -                           | \$ -                         |
| Contactores de compresores         | 1.2. 1A3         | Desgaste mecánico del contactor del compresor.   | SC         | 5%                  | 1                                | \$ 213.886          | \$ 18.312                      | \$ 10.694                    |
| Contactores de compresores         | 1.2. 1A4         | Contactador funcionando a dos fases.   | SC         | 0%                  | 1                                | \$ 213.886          | \$ -                           | \$ -                         |
| Contactador ventilador condensador | 1.3. 1A1         | Falla de punto en tarjeta de control.  | C          | 0%                  | 1                                | \$ 206.910          | \$ -                           | \$ -                         |
| Contactador ventilador condensador | 1.3. 1A2         | Motor de ventilador quemado.   | SC         | 0%                  | 1                                | \$ 450.000          | \$ -                           | \$ -                         |
| Contactador ventilador condensador | 1.3. 1A3         | Bobina de contactor quemada.   | SC         | 0%                  | 1                                | \$ 206.910          | \$ -                           | \$ -                         |
| Contactador ventilador condensador | 1.3. 1A4         | Desgaste mecánico del contactor del ventilador condensador.  | SC         | 0%                  | 1                                | \$ 206.910          | \$ -                           | \$ -                         |
| Contactador bomba de agua          | 1.4. 1A1         | Falla en punto de tarjeta de control.  | C          | 0%                  | 1                                | \$ 1.500.000        | \$ -                           | \$ -                         |
| Contactador bomba de agua          | 1.4. 1A2         | Motor de bomba trabado por acumulación de óxido o sarro.   | NC         | 0%                  | 1                                | \$ 450.000          | 0                              | 0                            |
| Contactador bomba de agua          | 1.4. 1A3         | Motor de bomba trabado por acoplamiento interno mal ajustado.  | C          | 0%                  | 1                                | \$ 450.000          | \$ -                           | \$ -                         |
| Contactador bomba de agua          | 1.4. 1A4         | Motor de bomba quemado por alta tensión exterior.  | C          | 0%                  | 1                                | \$ 450.000          | \$ -                           | \$ -                         |
| Contactador bomba de agua          | 1.4. 1A5         | Motor de bomba quemado por trabajar en vacío (dado que alguna de las válvulas se encuentra cerrada). | C          | 0%                  | 1                                | \$ 450.000          | \$ -                           | \$ -                         |
| Contactador bomba de agua          | 1.4. 1A6         | Motor de bomba quemado dado que el sistema se encuentra sin agua.                                    | C          | 0%                  | 1                                | \$ 450.000          | \$ -                           | \$ -                         |
| Contactador bomba de agua          | 1.4. 1A7         | Falta de fase en tablero de control (fuerza) del Chiller.  | C          | 0%                  | 1                                |                     | \$ -                           | \$ -                         |
| Contactador bomba de agua          | 1.4. 1A8         | Falta de fase externa al Chiller.  | C          | 5%                  | 1                                |                     | \$ 18.312                      | \$ -                         |

Tabla 111: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 4, Chiller B787 parte 1.

| Chiller B787                              |                  |   |            |                     |                                  |                     |                                |                              |  |
|---|------------------|---|------------|---------------------|----------------------------------|---------------------|--------------------------------|------------------------------|--|
| Sub-Sistema o Componente                  | N° Modo de Falla | Modo de Falla   | Criticidad | Frecuencia de Falla | Tiempo de Parada Simulador (hrs) | Costo de Reparación | Costo de Ineficiencia Esperado | Costo de Reparación Esperado |  |
| Tarjeta de control                        | 1.5. 1A1         | Fuga de gas refrigerante genera ausencia de señal de presostato de baja presión.    | C          | 0%                  | 1                                | \$ 1.000.000        | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Tarjeta de control                        | 1.5. 1A2         | Fuga de aceite y gas refrigerante genera ausencia de señal de presostato de aceite. | C          | 0%                  | 1                                | \$ 1.000.000        | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Presostato de alta y baja presión         | 1.6. 1A1         | Presostatos mal calibrados, en corte o desconectados.                               | C          | 0%                  | 1                                | \$ 62.273           | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Presostato de aceite                      | 1.7. 1A1         | Presostatos mal calibrados, en corte o desconectados.                               | C          | 0%                  | 1                                | \$ 316.716          | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Flow switch                               | 1.8. 1A1         | No hay circulación de agua.   | SC         | 0%                  | 1                                | \$ 400.000          | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Flow switch                               | 1.8. 1A2         | Flow switch pegado o aleta de flow switch en mal estado.                            | SC         | 0%                  | 1                                | \$ 150.000          | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Manómetros                                | 1.9. 1A1         | Manómetro descalibrado.   | NC         | 0%                  | 1                                | \$ 50.000           | 0                              | 0                            |  |
| Termómetros digital y análogo             | 1.10. 1A1        | Termómetro descalibrado.  | SC         | 0%                  | 1                                | \$ 40.000           | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Ventilador condensador                    | 1.11. 1A1        | Falta de energía de fuerza en contactor de ventilador.                              | SC         | 5%                  | 1                                | \$ 246.223          | \$ 18.312                      | \$ 12.311                    |  |
| Ventilador condensador                    | 1.11. 1A2        | Falta de energía de control en bobina de contactor.                                 | SC         | 5%                  | 1                                | \$ 27.150           | \$ 18.312                      | \$ 1.358                     |  |
| Ventilador condensador                    | 1.11. 1A3        | Aspas sueltas, fuera de su lugar o rotas.   | C          | 0%                  | 1                                | \$ 1.944.951        | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Serpentín                                 | 1.12. 1A1        | Serpentín sucio.  | SC         | 0%                  | 1                                | \$ 12.000           | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Resistencia cárter                        | 1.13. 1A1        | Resistencia de cárter dañada.   | SC         | 0%                  | 1                                | \$ 537.650          | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Separador de líquido                      | 1.14. 1A1        | Rotura interna de válvula de expansión.   | SC         | 0%                  | 1                                | \$ 192.116          | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Válvula de servicio y succión de descarga | 1.15. 1A1        | Rotura interna de válvula o con restos de escoria.                                  | NC         | 0%                  | 1                                | \$ 192.116          | 0                              | 0                            |  |
| Estanque de expansión                     | 1.16. 1A1        | Membrana rota o con poco aire.  | NC         | 0%                  | 1                                | \$ 40.000           | 0                              | 0                            |  |
| <b>TOTAL</b>                              |                  |   |            |                     |                                  |                     | <b>\$ 73.250</b>               | <b>\$ 24.363</b>             |  |

Tabla 112: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 4, Chiller B787 parte 2.

| UMA Morrison B787                   |                  |   |            |                     |                                  |                     |                                |                              |  |
|-------------------------------------|------------------|---|------------|---------------------|----------------------------------|---------------------|--------------------------------|------------------------------|--|
| Sub-Sistema o Componente            | N° Modo de Falla | Modo de Falla   | Criticidad | Frecuencia de Falla | Tiempo de Parada Simulador (hrs) | Costo de Reparación | Costo de Ineficiencia Esperado | Costo de Reparación Esperado |  |
| Contactador ventilador de impulsión | 1.1. 1A1         | Falta de energía de control en bobina de un contactor (24 V). | C          | 5%                  | 5                                | \$ 202.141          | \$ 91.562                      | \$ 10.107                    |  |
| Contactador ventilador de impulsión | 1.1. 1A2         | Ausencia de una de las fases.                                 | C          | 5%                  | 5                                | \$ 202.141          | \$ 91.562                      | \$ 10.107                    |  |
| Relés de control                    | 1.2. 1A1         | No recibe la señal del sensor de temperatura TE150.           | C          | 0%                  | 3                                | \$ 202.141          | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Relés de control                    | 1.2. 2A1         | No recibe señal del sensor de temperatura.                    | SC         | 0%                  | 3                                | \$ 79.810           | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Filtros                             | 1.3. 1A1         | Filtro sucio.   | C          | 0%                  | 3                                | \$ 60.000           | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Serpentín de agua fría              | 1.4. 1A1         | Serpentín con aire en su interior.                            | SC         | 0%                  | 5                                |                     | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Serpentín de agua fría              | 1.4. 1A2         | Válvula de agua cerrada.                                      | SC         | 0%                  | 2                                | \$ 190.000          | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Ventilador de impulsión             | 1.5. 1A1         | Contactador no acciona.                                       | C          | 0%                  |                                  | \$ 202.141          | \$ -                           | \$ -                         |  |
| Ventilador de impulsión             | 1.5. 1A2         | Falla en bobinas de motor del ventilador.                     | C          | 0%                  | 20                               | \$ 600.000          | \$ -                           | \$ -                         |  |
| <b>TOTAL</b>                        |                  |   |            |                     |                                  |                     | <b>\$ 183.124</b>              | <b>\$ 20.214</b>             |  |

Tabla 113: Detalle de costos de ineficiencia y reparación estimados alternativa 4, UMA Morrison B787.

#### 9.4. Cotizaciones de repuestos por equipo

| Equipo                     | Repuesto                     | Especificaciones                                 | Stock mínimo | Costo Unitario    | Costo Total       |
|----------------------------|------------------------------|--|--------------|-------------------|-------------------|
| Compacto Bahía A320-1      | Filtros                      | 61,5x50x4,5 cm                                   | 8            | \$ 13.600         | \$ 108.800        |
|                            | Correa V. Impulsión          | B95  | 1            | \$ 22.000         | \$ 22.000         |
|                            | Contactores Compresor        | LC1D32 , 32 A , bobina 220 V                     | 1            | \$ 49.241         | \$ 49.241         |
|                            | Contactores V. Impulsión     | furnas , bipolo 35 A , 220 V                     | 1            | \$ 20.500         | \$ 20.500         |
|                            | Contactores V. Condensado    | MEC GMC -9 , 9 A , bobina 220 V                  | 1            | \$ 16.942         | \$ 16.942         |
|                            | Relés Compresor térmico      | LR2D13 de 12 a 18 A                              | 1            | \$ 24.812         | \$ 24.812         |
| Compacto Emergencia A320-1 | Correa V. Impulsión          | -  | 1            | \$ 12.000         | \$ 12.000         |
|                            | Contactores Compresor        | MC12B , 12 A , bobina 220 V                      | 1            | \$ 21.043         | \$ 21.043         |
|                            | Contactores V. Impulsión     | MC12B , 9 A , bobina 220 V                       | 1            | \$ 16.942         | \$ 16.942         |
|                            | Contactores V. Condensado    | MC12B , 9 A , bobina 220 V                       | 1            | \$ 16.942         | \$ 16.942         |
|                            | Relés Compresor              | térmico MT 32, de 9 a 13 A                       | 1            | \$ 21.626         | \$ 21.626         |
|                            | Relés V. Impulsión           | térmico MT 32, de 2,5 a 4 A                      | 1            | \$ 21.626         | \$ 21.626         |
| Compacto Morrison A320-1   | Filtros                      | 20 X 20 X 2 metálicos lavables                   | 2            | \$ 13.404         | \$ 26.808         |
|                            | Contactores compresor        | General Electric CR453AC3HAA 30 A , bobina 24 V  | 1            | \$ 48.871         | \$ 48.871         |
|                            | Contactores v. impulsión     | CB3XQ02CY , 30 A , bobina 24 V                   | 1            | \$ 48.871         | \$ 48.871         |
|                            | Contactores v. condensado    | MEC GMC-9 , 9 A , bobina 24 V                    | 1            | \$ 16.942         | \$ 16.942         |
|                            | Relés compresor              | relé de retardo partida compresor 0,3-10 minutos | 1            | \$ 24.064         | \$ 24.064         |
|                            | Relés v. impulsión           | Térmico Siemens ESP100 de 3-9 A                  | 1            | \$ 21.626         | \$ 21.626         |
|                            | Fusibles                     | 4 A transformador                                | 1            | \$ 2.190          | \$ 2.190          |
| E. Precisión A320-1        | Filtros                      | 71 x 67 x 2                                      | 4            | \$ 14.682         | \$ 58.728         |
|                            | Correa ventilador impulsión  | Dayco 12,5 x 875 A-37                            | 2            | \$ 12.000         | \$ 24.000         |
|                            | Contactores compresor        | AB 100-C12-10 , bobina 24 V , 12 A               | 1            | \$ 21.043         | \$ 21.043         |
|                            | Contactores v. impulsión     | AB 100-C09-10 , bobina 24 V , 9 A                | 1            | \$ 11.405         | \$ 11.405         |
|                            | Contactores v. condensado    | AB 100-C09-10 , bobina 24 V , 9 A                | 1            | \$ 11.405         | \$ 11.405         |
| T. Enfriamiento A320-1     | Filtros de agua              | 1 1/2"   | 1            | \$ 8.290          | \$ 8.290          |
|                            | Contactador bomba de agua    | SN20 , 32 A , bobina 220 V                       | 1            | \$ 49.241         | \$ 49.241         |
|                            | Contactador bomba de agua    | SN12 , 20 A Mitsubishi , bobina 220 V            | 1            | \$ 33.600         | \$ 33.600         |
|                            | Contactores ventilador torre | Telemanique LC1K09 , 9 A , bob. 220 V            | 1            | \$ 16.942         | \$ 16.942         |
| <b>TOTAL</b>               |                              |  |              | <b>\$ 611.850</b> | <b>\$ 776.500</b> |

Tabla 114: Repuestos requeridos para equipos de aire acondicionado de simulador A320-1

| Equipo                 | Repuesto                     | Especificaciones                                      | Stock mínimo | Costo Unitario    | Costo Total       |
|------------------------|------------------------------|---|--------------|-------------------|-------------------|
| Compacto Bahía A320-2  | Filtros                      | 61,5x50x4,5 cm  | 8            | \$ 13.600         | \$ 108.800        |
|                        | Contactores Compresor        | GOODSPEC HLC-3XQ04CG , 40 A, bobina 24 V              | 1            | \$ 30.665         | \$ 30.665         |
|                        | Contactores V. Impulsión     | 3100-20Q1942C , bobina 24 V, bipolo, 40 A             | 1            | \$ 30.665         | \$ 30.665         |
|                        | Relés Compresor              | LRD22 de 16 a 24 A                                    | 1            | \$ 24.812         | \$ 24.812         |
|                        | Relés V. Condensado          | relé bobina 220 V, polo simple unilimited 9100-403Q42 | 1            | \$ 3.500          | \$ 3.500          |
|                        | Correa                       | B95   | 1            | \$ 22.000         | \$ 22.000         |
|                        | relé retardo                 | aruki 0,3 a 10 minutos, 220 V                         | 1            | \$ 24.064         | \$ 24.064         |
| C. Morrison A320-2     | Filtros                      | 63X55X45 CM   | 2            | \$ 13.404         | \$ 26.808         |
|                        | Contactores Compresor        | LC1D25 10 , 25 A , bobina 24 V                        | 1            | \$ 53.981         | \$ 53.981         |
|                        | Contactores V. Impulsión     | square 30 A , bobina 24 V                             | 1            | \$ 48.871         | \$ 48.871         |
|                        | Contactores V. Condensado    | 3100-300952 , 30 A , bobina 24 V                      | 1            | \$ 48.871         | \$ 48.871         |
|                        | Relés V. Impulsión térmico   | LRD08 2,5 a 4 A                                       | 1            | \$ 21.626         | \$ 21.626         |
|                        | Fusibles                     | ferraz shawmut 32 A                                   | 1            | \$ 3.387          | \$ 3.387          |
| E. Precisión A320-2    | Filtros                      | 71 x 67 x 2   | 2            | \$ 14.882         | \$ 29.764         |
|                        | Contactores Compresor        | SPRECHER CA3-9-10, bobina 24 V, 9 A                   | 1            | \$ 11.405         | \$ 11.405         |
| T. Enfriamiento A320-2 | Filtros de agua              | 1 1/2" filtro Y                                       | 1            | \$ 8.290          | \$ 8.290          |
|                        | Contactador bomba de agua    | LC1D25, bobina 220 V , 25 A                           | 1            | \$ 33.600         | \$ 33.600         |
|                        | Contactores bomba de agua    | LC1D32 , bobina 220 V , 32 A                          | 1            | \$ 49.241         | \$ 49.241         |
|                        | Relés bomba de agua térmico  | LRD21 de 12-18 A                                      | 1            | \$ 21.737         | \$ 21.737         |
|                        | Contactores ventilador torre | LC1D18 bobina 220 V, 18 A                             | 1            | \$ 24.735         | \$ 24.735         |
|                        | Fusibles                     | RT16-32 , 32 A 500 V TAP 10x38                        | 1            | \$ 3.387          | \$ 3.387          |
| <b>TOTAL</b>           |                              |   |              | <b>\$ 339.446</b> | <b>\$ 448.050</b> |

Tabla 115: Repuestos requeridos para equipos de aire acondicionado de simulador A320-2

| Equipo                     | Repuesto                          | Especificaciones                   | Stock mínimo | Costo Unitario    | Costo Total       |
|----------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|--------------|-------------------|-------------------|
| Chiller B787               | Contactador compresor             | ABB, A40-30-01 , 40 A, bobina 24 V | 1            | \$ 55.107         | \$ 55.107         |
|                            | Contactores ventilador condensado | ABB, VB6A-30-01, 6 A , bobina 24 V | 1            | \$ 11.405         | \$ 11.405         |
|                            | Contactores motor bomba de agua   | ABB, A12-30-01 , 12 A, bobina 24 V | 1            | \$ 21.043         | \$ 21.043         |
|                            | Fusibles                          | -                                  | 1            | \$ 2.190          | \$ 2.190          |
|                            | térmico bomba agua                | 2,2 a 3,1 A                        | 1            | \$ 16.590         | \$ 16.590         |
| Compactos Bahía y HPU B787 | Filtros                           | 20x20x2                            | 8            | \$ 13.404         | \$ 107.232        |
|                            | Correa ventilador de impulsión    | -                                  | 1            | \$ 25.000         | \$ 25.000         |
|                            | Contactores compresor             | weg , CWM9 , bobina 24 V, 9 A      | 1            | \$ 16.942         | \$ 16.942         |
|                            | Contactores ventilador impulsión  | weg CWM25 , bobina 24 V, 25 A      | 1            | \$ 53.981         | \$ 53.981         |
|                            | Contactores ventilador condensado | weg CWM9, 9 A, bobina 24 V         | 1            | \$ 16.942         | \$ 16.942         |
|                            | Relés ventilador impulsión        | térmico 4-6,3 A, RW27D             | 1            | \$ 17.354         | \$ 17.354         |
|                            | Fusibles                          | -                                  | 1            | \$ 3.387          | \$ 3.387          |
| Equipos Precisión B787     | Filtros                           |                                    | 2            | \$ 21.882         | \$ 43.764         |
|                            | Contactores compresor             | LC1D25, 25 A , bobina 24 V         | 2            | \$ 53.981         | \$ 107.962        |
|                            | Contactores ventilador impulsión  | LC1K09 , 9 A , bobina 24 V         | 2            | \$ 16.942         | \$ 33.884         |
|                            | Fusibles                          | -                                  | 1            | \$ 2.190          | \$ 2.190          |
| UMA Morrison B787          | Filtros                           | 21X24X2                            | 2            | \$ 13.404         | \$ 26.808         |
|                            | Contactores V. Impulsión          | SQUARE 30 A, bobina 24 V           | 1            | \$ 48.871         | \$ 48.871         |
|                            | Relés V. Impulsión                | térmico LRD08, 2,5-4 A             | 1            | \$ 16.591         | \$ 16.591         |
|                            | Fusibles                          | -                                  | 1            | \$ 2.288          | \$ 2.288          |
| <b>TOTAL</b>               |                                   |                                    |              | <b>\$ 429.494</b> | <b>\$ 629.531</b> |

Tabla 116: Repuestos requeridos para equipos de aire acondicionado de simulador B787.