

**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA**  
**CAMPUS SAN JOAQUÍN - SANTIAGO**

**APLICACIÓN DE LAS TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE CRITICIDAD Y COSTOS DE**  
**CICLO DE VIDA EN EL ÁREA DE UN PABELLÓN QUIRÚRGICO**

Trabajo de Titulación para optar al  
Título de Ingeniería en MANTENIMIENTO  
INDUSTRIAL

Alumno:

Felipe Esteban Castro Llanos

Profesor Guía:

Dr. Mg. Ing. Carlos Alberto Parra Márquez



## CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

### 1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

**Tipo de monografía (marcar una opción):**  Memoria o trabajo de título;  Tesis de Postgrado;

**Título del trabajo:** "Aplicación de las técnicas de análisis de criticidad y costos de ciclo de vida en el área de un pabellón quirúrgico".

**Nombre del candidato(a):** Felipe Esteban Castro Llanos

**Carrera / Grado:** Ingeniería en mantenimiento industrial con Licenciatura

**Campus:** Santiago San Joaquin ; **Departamento:** Departamento de mecánica

### 2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Carlos Parra Marquéz, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución

### 3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL

El trabajo **NO contiene información que amerite confidencialidad** y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (embargo) por:

6 meses;  12 meses;  2 años;  3 años;  5 años;  10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

### 4.- FIRMAS

**Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:**

**Fecha:** 24-07-2025

**; Firma:** \_\_\_\_\_

**Estudiante o Candidato(a):**

**Fecha:** 24-07-2025

**; Firma:** \_\_\_\_\_

*Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.*

## RESUMEN

**KEYWORDS:** ANÁLISIS DE CRITICIDAD, ANÁLISIS COSTO DE CICLO DE VIDA, WOODWARD, FMSC, PABELLÓN QUIRÚRGICO, EQUIPAMIENTO MÉDICO, MANTENIMIENTO.

En el ámbito de la salud, el mantenimiento de equipos médicos es esencial para evitar complicaciones durante los procedimientos quirúrgicos. Este proceso ayuda a garantizar la seguridad de los pacientes y profesionales de la salud, así como el buen funcionamiento de los equipos. En Clínica Fundación Médica San Cristóbal, los equipos del área de pabellón quirúrgico tienen una antigüedad de 15 años promedio, por lo que es necesario considerar su renovación.

En este estudio, se utilizará el Modelo de Análisis de criticidad para determinar el equipo del área de pabellón que se encuentra con el mayor riesgo. El Modelo se basa en parámetros predispuestos, como el tiempo de operatividad, el número de fallas por periodo, el costo de las fallas y los tiempos de reparación. Una vez identificado el equipo crítico, se realizará un Análisis de Costos del Ciclo de Vida (ACCV) para evaluar los costos asociados a ese equipo, desde su adquisición hasta su eliminación. El ACCV es una metodología que considera los costos de inversión inicial, operación, mantenimiento (correctivo, preventivo y mayor) y valor residual. Además, se analizará el impacto de la fiabilidad en los costos totales de ciclo de vida. Para ello, se describirá y aplicará el modelo básico de tasa de fallo constante (Modelo de Woodward). Este modelo considera las consecuencias de las fallas, que pueden ser económicas, de seguridad o de productividad.

## INDICE

<b>RESUMEN</b> .....	
<b>SIGLAS Y SIMBOLOGIA</b> .....	
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>OBJETIVO GENERAL</b> .....	2
<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b> .....	2
<b>CAPÍTULO 1: ANÁLISIS Y DESCRIPCIÓN DEL CONTEXTO OPERACIONAL</b> .....	3
<b>1.1. RESEÑA EMPRESA</b> .....	4
<b>1.2. CASO DE ESTUDIO</b> .....	4
<b>1.3. CONTEXTO OPERACIONAL ÁREA DE PABELLÓN QUIRÚRGICO</b> .....	6
1.3.1. Cirugías Plásticas .....	6
1.3.2. Cirugías Traumatológicas.....	7
1.3.3. Cirugías Ginecológicas.....	9
<b>1.4. DESCRIPCIÓN DE LA FUNCIÓN DEL EQUIPAMIENTO MÉDICO</b> .....	10
1.4.1. Equipamiento Médico Fundación Médica San Cristóbal .....	11
<b>CAPÍTULO 2: METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE CRITICIDAD Y COSTO DE CICLO DE VIDA EN EL ÁREA DE PABELLONES QUIRÚRGICOS</b> .....	16
<b>2.1. MODELO DE GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO</b> .....	17
<b>2.2. MODELOS DE ANÁLISIS</b> .....	18
<b>2.3. MODELO DE ANÁLISIS DE CRITICIDAD</b> .....	19
2.3.1. Matriz de criticidad cualitativa de riesgo (MCCR) .....	20
2.3.2. Matriz de criticidad de riesgos .....	23
<b>2.4. MODELO DE ANÁLISIS DE COSTO DE CICLO DE VIDA</b> .....	24
2.4.1. Aspectos teóricos básicos de los costes .....	24
2.4.2. Impacto de la fiabilidad en la evaluación de los modelos de analisis de costo de ciclo de vida citar 27	
2.4.3. Modelo de análisis de costos de ciclo de vida de woodward.....	29
<b>CAPÍTULO 3: APLICACIÓN ANÁLISIS DE CRITICIDAD Y COSTO DE CICLO DE VIDA EN EL ÁREA DE PABELLONES QUIRÚRGICOS CLÍNICA FUNDACIÓN MÉDICA SAN CRISTÓBAL</b> .....	33
<b>3.1. APLICACIÓN MODELO DE ANÁLISIS DE CRITICIDAD</b> .....	34
<b>3.2. APLICACIÓN MODELO DE ANÁLISIS DE COSTO DE CICLO DE VIDA</b> .....	37
<b>3.3. RESULTADOS OBTENIDOS</b> .....	41
<b>3.4. ASPECTOS IMPORTANTES A CONSIDERAR PARA IMPLEMENTAR ACCR Y ACCV, RESPECTO A LAS LECCIONES APREDIDAS POR ESTAS METODOLOGÍAS</b> .....	43
<b>CONCLUSIÓN</b> .....	47
<b>BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS</b> .....	49

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Ubicación geográfica Clínica FMSC – Luis Pasteur 5292, Vitacura.....	8
Figura 1-2. Máquina de anestesia Drager Fabius CE .....	18
Figura 1-3. Lámpara quirúrgica Modelo Hanaulux.....	19
Figura 1-4. Monitor Multiparámetros marca Datex Ohmeda modelo cardio/cap5.....	19
Figura 1-5. Monitor desfibrilador marca Zoll m-series.....	21
Figura 1-6. Electrobisturí marca Valley lab modelo force X.....	22
Figura 1-7. Mesa quirúrgica marca Mediland .....	22
Figura 1-8. Equipo de isquemia marca Zimmer ATS 2000.....	22
Figura 1-9. Equipo de rayos X arco en C marca Philips.....	23
Figura 1-10. Torre de laparoscopia marca Stryker.....	23
Figura 1-11. Modelo de gestión del mantenimiento.....	27

## INDICE DE TABLAS

Tabla N°1: Listado equipos médicos pabellón N°1 .....	20
Tabla N°2: Listado equipos médicos pabellón N°2.....	21
Tabla N°3: Rango de frecuencia de fallos por año (FF).....	35
Tabla N°4: Rango de clasificación consecuencia de los fallos.....	36
Tabla N°5: Impacto de la seguridad, higiene y salud del paciente (SHSP).....	37
Tabla N°6: Costo por los fallos.....	37
Tabla N°7: Rango de impacto a la producción.....	38
Tabla N°8: Matriz de criticidad.....	39
Tabla N°9: Nivel de criticidad.....	39
Tabla N°10: MCCR Pabellón N°1 .....	55
Tabla N°11: MCCR Pabellón N°2.....	55
Tabla N°12: Clasificación de riesgo del equipamiento de pabellones quirúrgicos.....	56
Tabla N°13: Equipamiento con índice de nivel alto riesgo ordenado con puntuación de mayor a menor.....	57
Tabla N°14: Costo Reacondicionamiento MMP GE CardioCap/5.....	58
Tabla N°15: Resultado aplicación de ecuación Frecuencia de falla anual equipamiento reacondicionado.....	59

Tabla N°16: Resultado aplicación de ecuación Costos relacionados con cada tipo de fallo equipamiento reacondicionado.....	60
Tabla N°17: Resultado aplicación de ecuación Costos totales por fracaso anual equipamiento reacondicionado.....	60
Tabla N°18: Costos de ciclo de vida Equipo Reacondicionado Valor Presente.....	61
Tabla N°19: Resultado aplicación de ecuación Frecuencia de falla anual equipamiento nuevo.....	61
Tabla N°20: Resultado aplicación de ecuación Costos relacionados con cada tipo de fallo equipamiento nuevo.....	62
Tabla N°21: Resultado aplicación de ecuación Costos totales por fracaso Anual equipamiento nuevo.....	62
Tabla N°22: Costos de ciclo de vida Equipamiento nuevo valor presente.....	63
Tabla N°23: Tabla comparativa Costos de Ciclo de Vida equipo reacondicionado versus equipamiento nuevo.....	64

### **INDICE DE ECUACIONES**

Ecuación N°1: Criticidad total por riesgo.....	35
Ecuación N°2: Consecuencia de los fallos.....	36
Ecuación N°3: Tiempo promedio entre fallos .....	45
Ecuación N°4: Tiempo promedio de reparación .....	45
Ecuación N°5: Ecuación para calcular los diferentes Costes que genera un activo a lo largo de su ciclo de vida útil.....	48
Ecuación N°6: Fallas por año.....	49
Ecuación N°7: Costos relacionados con cada tipo de fallo.....	50
Ecuación N°8: Costo total de fracaso anual.....	50
Ecuación N°9: Costo por falla Valor actual.....	51

### **INDICE DE DIAGRAMAS**

Diagrama conceptual 2-1. Fuente de la estructura de Desglose de Costes (CBS).....	42
Diagrama conceptual 2-2. Oportunidades para la reducción de costes.....	43
Diagrama conceptual 2-3. Diagrama de la metodología de los modelos de Woodward y LCCA.....	52

## **SIGLAS Y SIMBOLOGIA**

FMSC: Clínica Fundación Médica San Cristóbal

ACR: Análisis de Criticidad de Riesgo

MCCR: Matriz de Criticidad Cualitativa de Riesgo

ACCV: Análisis de Costo de Ciclo de Vida

FF: Frecuencia de fallos por año

SHSP: Impacto de la seguridad, higiene y salud del paciente

MMP GE: Monitor Multiparámetros General Electric

CBS: Estructura de Desglose de Costes

MGM: Modelo de Gestión del Mantenimiento

SEREMI: Secretaria Regional Ministerial

HNP: Hernia núcleo pulposo lumbar

DIU: Un dispositivo intrauterino

HZ: Hertz

MTBF: Tiempo promedio entre fallos

MTTR: Tiempo medio de reparación

P: Valor Actual.

CI: Costes de adquisición e instalación

CO: Costes de operación

CMP: Costes de mantenimiento preventivo

i: tipo de interés

T: período de vida útil

CTP: Costes Totales de Fiabilidad (Costes de falla)

CMM: Costes de Mantenimiento Mayor /especiales.



## **INTRODUCCIÓN**

En este estudio se desarrollará una línea de investigación la cual incluye aspectos de análisis de criticidad, análisis de factor de fiabilidad y el impacto de costos de ciclo de vida para el área de pabellones quirúrgicos en el centro médico privado Clínica Fundación Médica San Cristóbal.

Esta investigación incorpora el Modelo de Gestión del Mantenimiento (MGM), el cual se estructura en ocho fases con el propósito de determinar el proceso adecuado de acciones que determinan la administración eficaz y eficiente de las actividades asociadas a un proceso de mantenimiento (Carlos Parra M., 2015). Este estudio se centra únicamente en dos de esas fases: la Fase 2, que se ocupa de la " Jerarquización de los equipos de acuerdo con la importancia de su función ", y la Fase 7, que consiste en el " Análisis del ciclo de vida y de la posible renovación de equipos ".

El propósito fundamental de esta investigación es presentar las directrices para la toma de decisiones relacionadas con el funcionamiento de los activos del área. Se estima que el 80% de los activos tienen al menos 15 años de antigüedad, por lo que es necesario considerar factores como los equipos e instrumentación utilizados, los procesos que se realizan, la criticidad y costos asociados.

## **OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar el Modelo de Análisis de Criticidad y Costo de Ciclo de Vida para ser aplicado en el área de Pabellones Quirúrgicos de Clínica Fundación Médica San Cristóbal.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Conocer el contexto operacional del área de pabellones quirúrgicos de Clínica Fundación Médica San Cristóbal, con el fin de identificar el sistema crítico.
2. Desarrollar la metodología de Análisis de Criticidad y Costo de Ciclo de Vida en el área de pabellones quirúrgicos y aplicarlo al sistema de monitoreo de signos vitales.
3. Analizar los resultados técnicos y económicos implementados de acuerdo con las metodologías aplicadas en el proceso de selección del Monitor Multiparámetros General Electric Datex Ohmeda Cardio Cap/5.

**CAPÍTULO 1: ANÁLISIS Y DESCRIPCIÓN DEL CONTEXTO OPERACIONAL**

## 1.1. RESEÑA EMPRESA

Clínica Fundación Médica San Cristóbal es un centro hospitalario privado compuesto por un grupo de médicos, profesionales y especialistas de gran trayectoria en distintas áreas de la medicina. Otorgando las más altas tecnologías para entregar una atención médica personalizada, integral, óptima y cómoda a sus pacientes para prevenir y tratar enfermedades.

Se caracteriza por la amplia cartera de atenciones médicas, como especialidad de cardiología, columna vertebral, endocrinología, ginecología y obstetricia, kinesiología, medicina general, nutrición, odontología y cirugías digestivas, plásticas, y columna vertebral, entre otras. Una de las principales especialidades de la medicina dispuestas por el centro médico son las intervenciones quirúrgicas, puesto que a lo largo de su trayectoria se ha caracterizado por entregar un servicio de alta calidad y conformidad. Posicionándolo como un servicio preferencial en el mercado.

Su ubicación geográfica es en la comuna de Vitacura, Santiago Región Metropolitana.

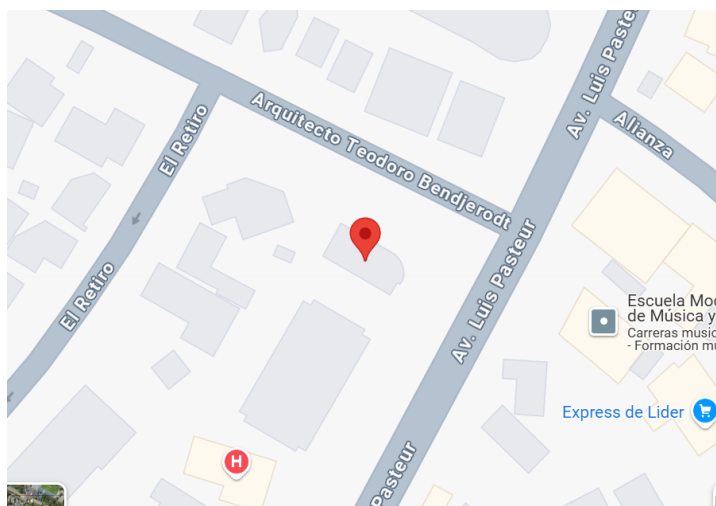


Figura 1-1. Ubicación geográfica Clínica FMSC – Luis Pasteur 5292, Vitacura.

Fuente: Google Maps

## 1.2. CASO DE ESTUDIO

Clínica Fundación Médica San Cristóbal es un centro hospitalario privado con una amplia gama de atenciones médicas ambulatorias. Este estudio enfocará su análisis en el área de Pabellones Quirúrgicos.

Pabellones quirúrgicos es la principal fuente de ingresos, debido a las prestaciones otorgadas, por lo que lo posiciona como uno de los centros médicos preferidos, no solo por la calidad y conformidad del servicio prestado por los médicos cirujanos, sino que también el servicio en su conjunto como tal. Las comodidades de su infraestructura, el inmueble, la calidad del personal humano y los equipos médicos e instrumentación utilizada entregan un servicio completo

e íntegro comprendiendo y cubriendo cada una de las necesidades del paciente y satisfaciéndolas en su totalidad.

Por otro parte, la mantención de este servicio en el tiempo, requiere de grandes inversiones de dinero, lo que a su vez también genera altas utilidades, siendo la principal fuente de ingreso de Clínica Fundación Médica San Cristóbal. Uno de los mayores gastos son los fármacos que se utilizan para las intervenciones quirúrgicas y también el costo de la mano de obra prestada por los médicos cirujanos a los pacientes. El foco de esta investigación serán los gastos que del equipamiento médico (Activos) del área de pabellones quirúrgicos.

El principal objetivo del área de pabellones quirúrgicos es entregar un servicio completo y confiable, adoptando todas las medidas de seguridad y cumpliendo con los estándares de la legislación vigente del Servicio de Salud SEREMI.

El equipamiento médico utilizado en el pabellón quirúrgico data de 15 años, cumpliendo con su vida útil pronosticada, y a la fecha encontrándose obsoleto, a causa de esto se hace complejo hallar repuestos para los equipos y así mismo la reparación. Además, el avance de la tecnología hace que se modifique en cierta forma el contexto operacional, forzando indirectamente la actualización del equipamiento. Por demás, la fiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad se ven afectados, y las tasas de fallas se presentan con mayor frecuencia.

Se torna complicado la toma de decisiones sobre qué hacer cuando se presenta una falla, y peor aún, lo que desencadenaría una eventual falla durante el proceso de intervención quirúrgica. Esto conllevaría enormes costos que no están considerados en la planificación.

Esta investigación expondrá 2 análisis centrados en el área de pabellones quirúrgicos para así entregar de datos e información relevante, a través de la implementación de metodologías de análisis con herramientas utilizadas para poder cubrir las necesidades del centro médico, y de esta forma anticiparse a cualquier catástrofe que pudiese ocurrir.

### **1.3. CONTEXTO OPERACIONAL ÁREA DE PABELLÓN QUIRÚRGICO**

El área de pabellones quirúrgicos es un espacio habilitado e independiente de las otras áreas de la Clínica, su uso es único y exclusivo para actividades quirúrgicas. El servicio de pabellón cuenta con una gran variedad de equipos médicos para poder llevar a cabo las intervenciones quirúrgicas, si bien las cirugías que se realizan en su interior tienen distintos procedimientos, los equipos utilizados son casi siempre los mismos. Por ejemplo, para una cirugía de columna vertebral se utilizará, la mesa quirúrgica, máquina de anestesia, monitor de signos vitales, lámpara quirúrgica e instrumental adecuado a la operación. Por otro lado, para una cirugía de lipoescultura o liposucción se utilizará los mismos equipos que una cirugía de columna vertebral agregando equipos de laparoscopia, fuente de luz, cámara frontal.

Por lo tanto, el contexto operacional se definirá de acuerdo con el tipo de cirugía que se realiza al interior de Clínica San Cristóbal.

#### **1.3.1. Cirugías Plásticas**

La Cirugía Plástica es una especialidad quirúrgica que se ocupa de la corrección de todo proceso congénito, adquirido, tumoral o simplemente involutivo, que requiera reparación o reposición, o que afecte a la forma y/o función corporal. Sus técnicas están basadas en el transplante y la movilización de tejidos mediante injertos y colgajos o incluso implantes de material inerte. La Cirugía Plástica Reparadora procura restaurar o mejorar la función y el aspecto físico en las lesiones causadas por accidentes y quemaduras, en enfermedades y tumores de la piel y tejidos de sostén y en anomalías congénitas, principalmente de cara, manos y genitales.

El equipamiento médico utilizado en una cirugía plástica siempre son los mismo, Máquina de anestesia, Monitor multiparámetros, Lámpara quirúrgica, Mesa quirúrgica, Electrobisturí, Equipo de isquemia, Monitor desfibrilador (Se usa en caso de emergencia) y Torre de Laparoscopia.

Tipos de Cirugías Plásticas que se realizan en el centro médico:

- a. Rinoseptoplastia: La rinoseptoplastia, conocida también como septorinoplastia es un procedimiento que combina dos cirugías en un mismo tiempo quirúrgico, una rinoplastia que puede mejorar la parte estética y la septoplastia, que puede mejorar la parte funcional de la nariz. Está dirigida por tanto para pacientes que necesitan una corrección estética y funcional de la nariz al mismo tiempo, en otras palabras, cuando sea necesario cambiar la forma de la nariz y mejorar el flujo de aire a través de las fosas nasales.

La rinoplastia es una cirugía estética de la nariz que busca alterar y reconstruir la forma de la pirámide nasal.

La septoplastia es la cirugía que busca reposicionar hacia la mitad el tabique nasal con lo cual se busca mejorar el flujo de aire a través de las fosas nasales, o en otras palabras, la cantidad de aire que pasa por cada lado de la nariz.

- b. Mamoplastia de aumento: Es una cirugía que se realiza para aumentar el tamaño de los senos. Implica colocar implantes mamarios debajo del tejido mamario o los músculos del tórax.
- c. Mamoplastia de reducción: Es una cirugía se realiza para eliminar el exceso de grasa, tejido y piel de las mamas. Está dirigido para las personas con mamas grandes.
- d. Abdominoplastia: Es una cirugía que consiste en solucionar la flacidez del abdomen y reparar el tejido muscular producido por variaciones de peso, embarazos u otros factores. La operación consiste en retirar el exceso de piel, sacar el tejido adiposo y reparar la pared muscular.
- e. Lipoabdominoplastia: Es una técnica que une dos cirugías en una única intervención. Primero, se realiza una liposucción removiendo y extrayendo toda la grasa sobrante del abdomen y, a continuación, se reconstruye la pared abdominal tensando los músculos y eliminando toda esa piel sobrante con una Abdominoplastia. Esta intervención tiene como principal finalidad corregir abdómenes distendidos, que experimentan flacidez de la musculatura debido a embarazos o grandes pérdidas de peso.
- f. Blefaroplastia: Es un tipo de cirugía que extirpa el exceso de piel de los párpados. Se puede acumular un exceso de grasa arriba y abajo de los párpados.
- g. Mentoplastia: La mentoplastia consiste en modificar la forma del mentón, siendo lo más frecuente el aumento del mentón con un implante.

### 1.3.2. Cirugías Traumatológicas

Las Cirugías traumatológicas son tratamientos quirúrgicos orientados a la recuperación funcional de las diferentes estructuras que componen el sistema músculo-esquelético. Entre ellas destacan, la cirugía de cadera, la cirugía de rodilla, la cirugía de hombro y la cirugía de mano.

Al igual que las cirugías plásticas se utilizan los mismos equipos, añadiendo a esta operación el Equipo de rayos X arco en C, que es el encargado de tomar radiografías en zonas difíciles por la misma cirugía.

Tipos de Cirugías Traumatológicas que se realizan en el centro médico:

- a. Hernia núcleo pulposo (HNP) lumbar: La hernia de disco intervertebral se produce cuando sale el material gelatinoso del disco, conocido como núcleo pulposo. Este material se desplaza a través de una fisura del anillo fibroso que lo rodea, generando problemas de espacio dentro del canal raquídeo y sus estructuras nerviosas. Como consecuencia, el paciente padece dolor lumbar y radicular (neurológico) que se irradia hacia las extremidades inferiores. La mayoría de estas hernias discales se producen en discos lumbares L4-L5 y L5-S1, debido a que son discos de mayor movilidad y con mayor sobrecarga.

La cirugía de hernia de núcleo pulposo, por lo general y en la medida de lo posible, busca eliminar solo el material discal afectado. La idea es dejar un remanente de disco, dado que cumple un papel fundamental en la absorción de choques producidos por movimientos del cuerpo como correr o caminar.

- b. Hernia núcleo pulposo cervical: Es una intervención quirúrgica que se realiza a nivel cervical para tratar patologías de los discos acompañados de compresiones neurológicas de los nervios o del canal medular. También si existen formación de hueso acompañadas o no de la afectación discal compresiva.
- c. Hernia núcleo pulposo Artroscópico: consiste en que, a través de pequeñas incisiones (dos o más según la articulación) de aproximadamente 0,5 cm. (portales), se introduce una cánula recta que en su interior lleva una óptica conectada a una cámara de video y por los otros orificios se introducen diversos instrumentales que permiten realizar procedimientos quirúrgicos, tales como plastias meniscales en la rodilla o reparación del Manguito Rotador en el hombro.
- d. Artrodesis vertebral: Es una cirugía para fusionar de manera permanente dos o más huesos en la columna vertebral para que no haya movimiento entre ellos. Estos huesos se denominan vértebras.
- e. Cirugía de liberación del túnel carpiano: Es la cirugía para tratar el síndrome del túnel carpiano. Este síndrome es la presencia de dolor y debilidad en la mano causados por la presión sobre el nervio mediano en la muñeca. El nervio mediano y los tendones que flexionan (encogen) los dedos pasan por un conducto llamado túnel carpiano de la muñeca. Este túnel es estrecho, de manera que cualquier hinchazón puede comprimir el nervio y causar dolor. Un ligamento grueso (tejido) justo debajo de la piel (el ligamento del carpo) conforma la parte superior de este túnel. Durante la operación, el cirujano corta a través del ligamento para abrir más espacio para el nervio y los tendones.
- f. Artroscopia del hombro: Es una cirugía en la cual se utiliza una pequeña cámara llamada artroscopio para examinar o reparar los tejidos dentro o alrededor de la articulación del hombro. El artroscopio se inserta a través de un pequeño corte (incisión) en la piel.
- g. Rizotomía: En la Rizotomía un neurocirujano accede a los nervios sensoriales a lo largo de la columna vertebral. Luego, cuidadosamente aísla las raíces nerviosas que transmiten los mensajes de contracción muscular a los músculos afectados. Finalmente, el neurocirujano secciona las fibras más anormales para aliviar la espasticidad, mientras preserva las otras funciones motoras y sensoriales. La espasticidad es una tensión muscular anormal debido a una contracción muscular prolongada. Es un síntoma asociado con lesiones cerebrales, de la médula espinal o de los nervios raquídeos, y se presenta en individuos afectados con condiciones neurológicas como la parálisis cerebral infantil
- h. Hallux valgus (Cirugía de juanetes): La cirugía consiste en la corrección de los ejes de los huesos del antepié que se encuentran desviados, mediante cortes llamados osteotomías y un correcto balance de partes blandas. Los huesos se fijan con tornillos o placas, que permiten que las osteotomías consoliden en posición correcta y de esta forma restaurar la armonía anatómica del pie.
- i. Safenectomía: Es el tratamiento quirúrgico para las várices, cuadro caracterizado por el aumento de tamaño y presión sanguínea de las venas. Esto ocurre por efecto de una vena principal que presenta reflujo de sangre en su interior (con mayor frecuencia la vena safena interna). La cirugía de várices consiste en la extirpación de la vena safena mayor o vena safena interna (o externa); se realiza una incisión en la ingle, se ubica la vena y se disecciona,

luego se hace lo mismo en la cara interna de la pierna. Asimismo, durante la cirugía se pueden extirpar las otras venas varicosas colaterales de las piernas (llamada comúnmente ligadura).

### 1.3.3. Cirugías Ginecológicas

La Cirugía Ginecológica es un procedimiento que se aplica cuando se detecta alguna enfermedad dentro del aparato reproductor femenino.

El equipamiento médico que se utilizará para este tipo de cirugías son similar a los de la cirugía plástica, añadiendo la torre de laparoscopia, ya que esta cirugía implica revisiones del área en cuestión y facilitar la cirugía mediante acercamientos que se muestran a través de la pantalla.

Tipos de Cirugías Ginecológicas que se realizan en el centro médico:

- a. Histeroscopia: Es un procedimiento para examinar el interior del útero (matriz). Su proveedor de atención médica puede observar: La abertura hacia el útero (cuello uterino), el interior del útero, las aberturas de las trompas de Falopio  
Este procedimiento se utiliza comúnmente para diagnosticar problemas de sangrado en mujeres, extraer pólipos o fibromas, o para realizar procedimientos de esterilización. Se puede realizar en un hospital, un centro de cirugía para pacientes ambulatorios o en el consultorio de su proveedor.
- b. Histerectomía: Una histerectomía es una operación para extraer el útero de una mujer. El útero es donde crece el bebé durante el embarazo.
- c. Cirugía de dispositivo intrauterino: Un dispositivo intrauterino (DIU) es un pequeño dispositivo de plástico con forma de T utilizado como anticonceptivo. Se inserta en el útero y permanece allí para prevenir el embarazo.

#### **1.4. DESCRIPCIÓN DE LA FUNCIÓN DEL EQUIPAMIENTO MÉDICO**

El equipamiento médico es considerado un componente fundamental de los sistemas de salud; los beneficios que pueden proporcionar continúan aumentando ya que son esenciales para prevenir, diagnosticar, tratar y rehabilitar enfermedades de una manera segura y efectiva.

Los pasos que implican la fabricación, regulación, planificación, evaluación, adquisición y administración de los equipos son complejos pero esenciales para garantizar su calidad, seguridad y compatibilidad con los entornos en los que se utilizan.

Se describirá a continuación la función de cada equipo perteneciente al área de pabellones quirúrgicos teniendo en cuenta dos pabellones como se muestran en la tabla N°1 y tabla N°2.

<b>Equipamiento Médico Pabellón quirúrgico N° 1 Clínica San Cristóbal</b>				
Equipo	Marca	Modelo	Serie	Año
Maquina de anestesia	Drager	Fabius CE	11791	2001
Lampara Quirúrgica	Hanaulux	Hanaulux	1002	2001
Monitor multiparametros	General electric	Datex Ohmeda cardiocap/5	6145523	2006
Monitor desfibrilador	Zoll	M-Series	T06F80437	2006
Electrobisturí	Valley Lab	Force FX	F1G18043A	2001
Mesa quirurgica	Mediland	NS	21007	2005
Equipo de isquemia	ZIMMER	ATS-2000	LA010220	2003

Tabla N°1: Listado equipos médicos pabellón N°1

Fuente: Elaboración propia

<b>Equipamiento Médico Pabellón quirúrgico N° 2 Clínica San Cristóbal</b>				
Equipo	Marca	Modelo	Serie	Año
Maquina de anestesia	Drager	Fabius CE	11799	2001
Lampara Quirúrgica	Hanaulux	Hanaulux	1002	2001
Monitor multiparametros	General electric	Datex Ohmeda cardiocap/5	6159534	2006
Monitor desfibrilador	General electric	Cardioserv	101105328	2006
Electrobisturí	Valley Lab	Force FX	F1F17961A	2001
Mesa quirurgica	Mercedes Imec	MI-3001E-LAZULI	5020	2005
Equipo de isquemia	ZIMMER	ATS-2000	FK029820	2003
Arco en C rayos x	Philips	Zenition 50	-	2005
Torre de laparoscopia	Fuente de luz	Stryker	x6000	2003
	Opticas	Storz	Telecam C3	2005
	Monitor 32"	LG	-	2005
	Video grabador	LG	-	2005
	Procesador de video full HD	Sony	-	2007
	Cabezal de cámara	Storz	-	2007
	Insuflador	Storz	-	2008

Tabla N°2: Listado equipos médicos pabellón N°2

Fuente: Elaboración propia

#### 1.4.1. Equipamiento Médico Fundación Médica San Cristóbal

- a. Máquina de anestesia: Es un equipo médico que cumple con la importante labor de suministrarle al paciente gases anestésicos. La máquina se usa comúnmente junto con un respirador artificial, sistema de respiración, equipo de succión y dispositivos de monitoreo del paciente.



Figura 1-2. Máquina de anestesia Drager Fabius CE

Fuente: Sitio web Drager.

- b. Lámpara quirúrgica: Es un tipo especial de lámpara que se utiliza en procedimientos médicos. Son lámparas diseñadas específicamente para proporcionar una iluminación de alta calidad y enfocada en áreas específicas del cuerpo. Esto permite que los médicos tengan una mejor visibilidad y puedan realizar procedimientos más precisos y seguros.



Figura 1-3. Lámpara quirúrgica Modelo Hanaulux

Fuente: Sitio web Hanaulux.

- c. Monitor multiparámetros: Es un equipo que sirve para medir los signos vitales de un paciente que determinan su estado. Consiste en un monitor que muestra en una misma pantalla varios de los signos vitales, como la frecuencia respiratoria, la presión invasiva y no invasiva, la saturación de oxígeno, el dióxido de carbono, entre otros.



Figura 1-4. Monitor multiparámetros marca Datex Ohmeda modelo cardio/cap5

Fuente: Sitio web General Electric.

- d. Monitor desfibrilador: Es un equipo electrónico que sirve para el diagnóstico, mediante un electrocardiograma, del ritmo cardíaco del paciente y restablecerlo tras haber sufrido una fibrilación ventricular o una taquicardia ventricular.

Recupera a la persona tras una parada cardiorrespiratoria a través de una o varias descargas eléctricas controladas. La parada cardíaca puede ocurrir en circunstancias muy variados, de manera fortuita, debido al el corazón (asistolia), especialmente en casos de arritmias muy graves como la fibrilación ventricular.



Figura 1-5. Monitor desfibrilador marca Zoll m-series

Fuente: Sitio web Deachile.

- e. Electrobisturí: Es un aparato eléctrico que convierte la energía eléctrica en calor con el objetivo de cortar, eliminar o coagular tejido blando como la carne, gracias a corrientes que están por encima de 200.000 Hz. Se utilizan estas frecuencias porque sólo producen calor, y porque si utilizara frecuencias más bajas, podría interferir con los procesos nerviosos del cuerpo.

Hace circular corriente de alta frecuencia e intensidad moderada o elevada entre dos electrodos aplicados al cuerpo. Esto hace que se genere calor en el lugar aplicado y se corte (electro sección) o coagule (electrocoagulación) el tejido.



Figura 1-6. Electrobisturí marca Valley lab modelo force X

Fuente: Sitio web Dremed.

- f. Mesa quirúrgica: Es la herramienta que emplea el cirujano en la intervención quirúrgica. Se diseña de forma tal que le permita al cirujano realizar las maniobras quirúrgicas necesarias, ya que el tamaño, el peso y la precisión del instrumental utilizado pueden afectar los resultados de la cirugía. Debe ser estable y confortable, debe tener un acolchado estable y una base electrohidráulica. Debe ser adecuada para cada tipo de operación, por ello tiene un mando que regula sus movimientos, los cuales son: Regulación de altura, inclinación lateral a ambos lados, trendelemburg y antitren, regulación de la placa lumbar, regulación de las piernas por separado y juntas, regulación de la placa de la cabeza.



Figura 1-7. Mesa quirúrgica marca Mediland

Fuente: Sitio web Mediland.

- g. Equipo de isquemia: Es un dispositivo de compresión circunferencial que comprime e impide el flujo de sangre de los vasos sanguíneos, se aplica sobre la extremidad para mantener la zona quirúrgica libre de sangre, facilitando la cirugía, ya que permite diferenciar mejor las estructuras, reduciendo el tiempo de intervención y las complicaciones.



Figura 1-8. Equipo de isquemia marca Zimmer ATS 2000

Fuente: Sitio web Zimmerbiomet

- h. Equipo de rayos X arco en C: Es un equipo de carácter móvil que permite la toma de radiografías en ángulos difíciles de hacer con una máquina tradicional. Gracias a que el nivel de radiación puede ser ajustado con precisión, esto permite la toma exacta del estudio que su médico necesita. Permite a los médicos y pacientes ver los resultados en tiempo real y sin la necesidad de mover al paciente de su propia cama de recuperación o cirugía.



Figura 1-9. Equipo de rayos X arco en C marca Philips

Fuente: Sitio web Philips.

- i. Torre de Laparoscopia: La laparoscopia es la alternativa mínimamente invasiva a la cirugía abierta convencional en la que se utiliza una pequeña cámara llamada laparoscopio para ver dentro del abdomen. Se realiza a través de pequeños orificios en la cavidad abdominal, de entre 0,5 y 1,5 milímetros. Una mínima incisión, en un pliegue longitudinal del ombligo, permite la introducción del endoscopio con una micro-cámara adosada, que ofrece en un monitor la visión panorámica de los órganos de la cavidad abdominal. De esta forma, el laparoscopio transmite la imagen de los órganos internos a un monitor, a través del cual el cirujano puede guiarse para realizar diferentes procedimientos quirúrgicos. El laparoscopio magnifica la imagen varias veces respecto al tamaño real, permitiendo una mejor visión de los órganos abdominales.



Figura 1-10. Torre de laparoscopia marca Stryker

Fuente: Sitio web Striker.

**CAPÍTULO 2: METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE CRITICIDAD Y COSTO DE  
CICLO DE VIDA EN EL ÁREA DE PABELLONES QUIRÚRGICOS**

## 2.1. MODELO DE GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO

En el contexto de la gestión del mantenimiento, es esencial determinar el proceso adecuado de acciones que determinan la administración eficaz y eficiente de las actividades asociadas a un proceso de mantenimiento. Para ello, se propone el modelo de gestión del mantenimiento (MGM), que se presenta en la figura 1, el cual sintetiza y mejora la información proporcionada por otros modelos desarrollados en la literatura. Cada una de las fases propuestas por el modelo está relacionada con un área clave de decisión dentro del mantenimiento y alineada con un proceso integral de Gestión de Activos y para cada una de las fases del modelo se relacionan metodologías y técnicas que permiten llevarlas a cabo. (Carlos Parra M., 2015)

Se destacan 2 fases de aplicación: Fase 2 “Jerarquización de los equipos de acuerdo con la importancia de su función” y Fase 7 “Análisis del ciclo de vida y de la posible renovación de equipos”.

El objetivo principal de esta investigación es dar a conocer las directrices para toma de decisiones para los activos pertenecientes a esta área. El 80% de los activos del área de pabellones quirúrgicos datan de por lo menos 15 años, es por ello, que surge esta investigación, considerando una serie de factores como, por ejemplo, los equipos e instrumentación utilizada, los procesos que se llevan a cabo y la criticidad de esta área.



Figura 1-11. Modelo de gestión del mantenimiento

Fuente: Apuntes “Técnicas de costes del ciclo de vida para la toma de decisiones en la optimización del mantenimiento” Facilitado por profesor Carlos Parra M.

## **2.2. MODELOS DE ANÁLISIS**

Pabellones quirúrgicos es un área crítica de Clínica Fundación Médica San Cristóbal, ya que en ellos se realizan procedimientos quirúrgicos que pueden tener un impacto significativo en la salud y la vida de los pacientes. Por lo tanto, es importante contar con una metodología de análisis de criticidad que permita identificar los equipos y sistemas críticos en esta área.

La Metodología de Análisis de Criticidad propuesta en este trabajo se basa en los siguientes pasos:

1. Identificación de los equipos y sistemas críticos: Identificar todos los equipos y sistemas que se encuentran en el área de pabellones quirúrgicos.
2. Evaluación de la criticidad: Evaluar la criticidad de cada equipo y sistema, teniendo en cuenta factores como la importancia del equipo o sistema para la seguridad del paciente, el impacto de una falla en el equipo o sistema y la probabilidad de que se produzca una falla.
3. Priorización de los equipos y sistemas críticos: Priorizar los equipos y sistemas críticos, de acuerdo con su nivel de criticidad.

El Análisis de costo de ciclo de vida es un método de evaluación económica que considera todos los costos asociados a un activo durante su vida útil. Estos costos incluyen los costos de adquisición, los costos de operación, los costos de mantenimiento y los costos de disposición final.

El análisis de costo de ciclo de vida es una herramienta importante para la toma de decisiones en el área de pabellones quirúrgicos. Puede utilizarse para comparar diferentes opciones de equipos y sistemas, para planificar el mantenimiento y la disposición final de los equipos, y para evaluar el impacto económico de los programas de seguridad y calidad.

El modelo de Análisis de Costo de ciclo de Vida propuesto puede aplicarse según los siguientes pasos:

1. Identificación de los costos: Identificar todos los costos asociados a los equipos y sistemas que se encuentran en el área de pabellones quirúrgicos. Esta identificación puede realizarse mediante una revisión de la documentación técnica de los equipos y sistemas, o mediante una encuesta a los usuarios de los equipos y sistemas.
2. Estimación de los costos: Estimar el valor de cada costo identificado. Esta estimación puede realizarse mediante métodos como la investigación de mercado o el análisis de datos históricos.
3. Cálculo del Costo Total: Calcular el costo total de cada equipo y sistema. Este costo total puede utilizarse para comparar diferentes opciones de equipos y sistemas, para planificar el mantenimiento y la disposición final de los equipos, y para evaluar el impacto económico de los programas de seguridad y calidad.

### **2.3. MODELO DE ANÁLISIS DE CRITICIDAD**

Las técnicas de clasificación cualitativas son una herramienta valiosa para determinar la criticidad de los activos en la industria. Estas técnicas consideran dos factores: la frecuencia y las consecuencias de las fallas. Al considerar estos factores, las organizaciones pueden identificar los activos que son más importantes para sus operaciones y garantizar que se mantengan y protejan adecuadamente.

Los beneficios de usar técnicas de clasificación cualitativas para determinar la criticidad incluyen:

- Identificar los activos que son relevantes para las operaciones.
- Priorizar las actividades de mantenimiento y reparación
- Asignar los recursos de manera más eficaz
- Mejora de la seguridad y la fiabilidad

Cuando se utilizan técnicas de clasificación cualitativas, es importante tener en cuenta las necesidades específicas de la organización. Las técnicas también deben utilizarse junto con otros métodos de evaluación de riesgos, como el análisis de riesgos cuantitativo.

Algunas de las técnicas de clasificación cualitativas que se pueden utilizar para determinar la criticidad incluyen:

-Matriz de probabilidad/consecuencia: esta técnica consiste en asignar una calificación de probabilidad y consecuencia a cada activo. Luego, los activos se clasifican de acuerdo con su puntaje de riesgo general.

-Análisis Bow-Tie: esta técnica es un enfoque más detallado para la evaluación de riesgos. Implica identificar las posibles causas y consecuencias de las fallas, así como los controles que existen para mitigar estos riesgos.

-Análisis SWIFT: esta técnica es una versión simplificada del análisis Bow-Tie. Implica identificar la gravedad, la probabilidad y la urgencia de cada riesgo.

-Principio de Pareto: esta técnica se utiliza para identificar los pocos activos que tienen el mayor impacto en el riesgo general.

La técnica específica que elija dependerá de las necesidades específicas de su organización. Sin embargo, todas estas técnicas se pueden utilizar para determinar de manera efectiva la criticidad de los activos industriales.

Los resultados de las técnicas de clasificación cualitativas pueden ayudar a los tomadores de decisiones de varias maneras. Por ejemplo, los resultados se pueden utilizar para:

- Priorizar las actividades de mantenimiento y reparación.
- Asignar los recursos de manera más eficaz
- Mejore la seguridad y la confiabilidad
- Tomar decisiones informadas sobre el futuro de la organización.

Mediante el uso de técnicas de clasificación cualitativas, los responsables de la toma de decisiones pueden asegurarse de que sus organizaciones están aprovechando al máximo sus activos y que están adecuadamente protegidas contra riesgos.

### 2.3.1. Matriz de criticidad cualitativa de riesgo (MCCR)

La MCCR es una herramienta cualitativa para evaluar la probabilidad de ocurrencia y el impacto del riesgo. Por lo tanto, es importante que los expertos que participen en la evaluación tengan la experiencia y los conocimientos necesarios para realizar una evaluación precisa. La MCCR debe adaptarse a las necesidades específicas de la organización. Por ejemplo, la organización puede modificar las categorías de probabilidad de ocurrencia e impacto del riesgo para reflejar mejor sus propias prioridades. La MCCR debe revisarse periódicamente para garantizar que sigue siendo adecuada para las necesidades de la organización. Por ejemplo, la organización puede revisar la MCCR si se producen cambios en el entorno operativo o en los objetivos de la organización.

Para el siguiente modelo de Análisis de Criticidad Matriz Cualitativa de Riesgo, se asignará, rangos, valores y calificaciones, a los cuales se le asignará una categoría y clasificación correspondiente al área de pabellón.

#### Criticidad total por riesgo

La criticidad total por riesgo establecerá el nivel de criticidad del activo, es el resultado final de la jerarquización de los equipos del área de pabellones quirúrgicos según los rangos definidos a continuación.

$$CTR = FF * C$$

Ecuación N°1: Criticidad total por riesgo

Fuente: Elaboración propia

Donde:

CTR= Criticidad total por riesgo

FF: Frecuencia de los fallos evaluado en un tiempo determinado (Fallos por año)

C= Consecuencia de los eventos causado por los fallos

a.) Frecuencia de los fallos

Los rangos de frecuencia de fallos por año presentados en la tabla N°3 están designados a través de una evaluación, tomando los valores mínimos y máximos de todos los equipos del área de pabellones quirúrgicos en el periodo de un año.

Rango frecuencia de fallos por año (FF)	
1	1 a 2
2	3 a 4
3	5 a 6
4	Mayor a 6

Tabla N°3: Rango de frecuencia de fallos por año (FF).

Fuente: Elaboración propia

Consecuencia de los eventos por fallos

La consecuencia de los eventos por fallos esta determinado por el producto entre el Impacto de la Seguridad, Higiene y Salud del paciente (SHHP) y la suma de los Costos por Fallos (CF) e Impacto a la Operación de servicio (IOS).

$$C = SHHP * (CF + IOS)$$

Ecuación N°2: Consecuencia de los fallos

Fuente: Elaboración propia

La siguiente la tabla expone un rango de 1 a 6 que será el valor designado para la fórmula N°1 de criticidad total de riesgo.

Consecuencia de los fallos SHHP*(CF+IOS)	
1	2 a 8
2	9 a 16
3	17 a 24
4	25 a 32
5	33 a 40
6	41 a 48

Tabla N°4: Rango de clasificación consecuencia de los fallos

Fuente: Elaboración propia

i.) Impacto de la Seguridad, Higiene y Salud del paciente (SHHP)

El factor más importante a considerar al momento de realizar la matriz cualitativa de riesgo es el impacto a la seguridad, higiene y salud del paciente. Dicho anteriormente, el proceso de cirugías es un proceso de suma delicadeza y criticidad, por lo que debe garantizar la operatividad del equipamiento médico involucrado. Sin embargo, es necesario ponerse en el peor de los casos para poder realizar un análisis efectivo y una correcta evaluación. Es por eso que en la tabla N°5 define los rangos del 1 al 4 en cuanto al impacto producido al paciente.

Impacto a la seguridad, higiene y salud del paciente (SHHP)	
1	No genera impacto sobre la seguridad, higiene y/o salud al paciente, puede operar con normalidad
2	Genera incidentes potenciales en seguridad, higiene y/o salud al paciente. Se puede modificar durante el proceso.
3	Afecta a la integridad y podría generar lesión incapacitante al paciente. Requiere atención urgente.
4	Genera catástrofe: muerte del paciente

Tabla N°5: Impacto de la seguridad, higiene y salud del paciente (SHSP).

Fuente: Elaboración propia

ii.) Costo por los fallos

El costo de los fallos está dado por la tabla N°6, calculado a través del promedio del costo del mantenimiento correctivo, repuestos, mano de obra, etcétera. En el periodo de un año.

Costos por fallos (CF)	
1	Costo inferior a \$500.000 CLP
2	Costos entre \$500.000 - \$800.000 CLP
3	Costos entre \$800.000 - \$1.200.000 CLP
4	Costo superior a \$1.200.000 CLP

Tabla N°6: Costo por los fallos

Fuente: Elaboración propia

iii.) Impacto a la Operación del Servicio

El impacto a la Operación del servicio está dado por el tiempo fuera de servicio que se encuentra el equipo, ya sea por mantenimiento planificado o no planificado, siendo predominante este último por el hecho de presentarse fallas en equipos de forma inoportuna, como lo expone la Tabla N°7.

Impacto a la operación del servicio (IOS)	
1	Tiempo fuera de servicio menor a 45 horas
2	Tiempo fuera de servicio entre 45 - 90 horas
3	Tiempo fuera de servicio entre 90-180 horas
4	Tiempo fuera de servicio mayor a 180 horas

Tabla N°7: Rango de impacto a la producción

Fuente: Elaboración propia

### 2.3.2. Matriz de criticidad de riesgos

Los resultados de la evaluación de los factores anteriores se presentan en una matriz de criticidad 6x4 donde el eje vertical está formado por cuatro niveles de frecuencia de fallos estos clasificados del uno al cuatro, mientras que el eje horizontal está formado por seis niveles de consecuencias de fallos clasificados de dos hasta doce, intercalados dos en dos.

Frecuencia	4	8	16	24	32	40	48
	3	6	12	18	24	30	36
	2	4	8	12	16	20	24
	1	2	4	6	8	10	12
		2	4	6	8	10	12
		Consecuencia					

Tabla N°8: Matriz de criticidad

Fuente: Elaboración propia

Los niveles de criticidad se componen por 3 colores; verde, amarillo y rojo. Donde cada uno corresponde a bajo, medio y alto nivel de criticidad respectivamente.

B	Nivel bajo de criticidad	1 a 7
M	Nivel medio de criticidad	8 a 19
A	Nivel alto de criticidad	20 a 48

Tabla N°9: Nivel de criticidad

Fuente: Elaboración propia

## **2.4. MODELO DE ANÁLISIS DE COSTO DE CICLO DE VIDA**

El análisis de costo de ciclo de vida ha surgido como una técnica efectiva dentro del proceso de optimización de Costos. Se define como una técnica de cálculo económico que permite optimizar la toma de decisiones asociadas a los procesos de diseño, selección, desarrollo y sustitución de los activos que componen un sistema de producción. Esta técnica propone evaluar cuantitativamente todos los Costes asociados al período de vida económica esperado, expresados en unidades monetarias equivalentes anuales (dólares/año, euros/año, pesos/año). Distingue 6 fases en el ciclo de vida de un activo: reconocimiento de la necesidad, desarrollo del diseño, producción, distribución, uso y desincorporación. El proceso del ciclo de vida comienza con la definición de las diferentes tareas de producción para el diseño preliminar. Luego se desarrollan actividades como el plan de producción, la disposición de la planta, la selección de equipos, la definición de los procesos de fabricación y otras actividades similares. Posteriormente, se considera la logística previa a la fase de diseño. Esta fase rodea el desarrollo del soporte necesario para el diseño y las diferentes etapas de soporte de producción para los posibles usuarios, el plan de mantenimiento previsto para el uso de los activos, y el proceso de desincorporación de los activos. (Carlos Parra M., 2015)

### 2.4.1. Aspectos teóricos básicos de los costes

Los Costes totales de un activo, desde su conceptualización hasta su retirada, serán sufragados por el usuario y tendrán un impacto directo en la comercialización del activo. Como compradores, pagaremos los recursos necesarios para diseñar y comercializar el activo, y como usuarios del activo pagaremos los recursos necesarios para utilizar, operar y desincorporar el activo. Los costos totales del ciclo de vida pueden descomponerse en diferentes categorías, como se muestra en la figura N°2. Esta descomposición se conoce como estructura de desglose de Costes (CBS). Esta estructura desglosa los Costes según las actividades organizativas que dan origen al sistema productivo. La CBS representa en términos generales los principales tipos de Costes asociados a los procesos de diseño, producción, comercialización, uso y desincorporación, aunque hay que tener en cuenta que el nivel de desglose y las distintas categorías de Costes dependerán de diferentes factores como: la naturaleza del activo a desarrollar, el tipo de información disponible, el proceso de diseño y fabricación, las variables económicas, el recurso humano, la tecnología existente, entre otros. (Carlos Parra M., 2015)

Otro aspecto de interés está relacionado con la diferencia de importancia entre los diferentes tipos de Costes. Por ejemplo, mientras que la organización quiere saber los Costes totales del activo a desarrollar, al diseñador sólo le interesan los Costes inherentes al diseño original. Algunos de los Costes incurridos en la vida del equipo son difíciles de visualizar en la fase de diseño, estos Costes están relacionados con la forma en que la organización desarrollará el producto. De tal manera que la definición de los Costes totales del ciclo de vida del activo debe

clasificarse en: los Costes relacionados con el proceso global de desarrollo, y en los Costes relacionados con el proceso de diseño del activo. Algunos aspectos que el diseñador no suele tener en cuenta en este proceso están relacionados con los Costes de producción y construcción del activo, hecho que va en detrimento de la reducción de Costes en esta fase del ciclo de vida. En la fase de diseño, en muchas oportunidades, estos Costes no son relevantes para el diseñador, lo que no significa que la organización deba obviar este tipo de Costes ya que posteriormente estos Costes deben ser considerados por los encargados de producir y fabricar el activo. (Carlos Parra M., 2015)

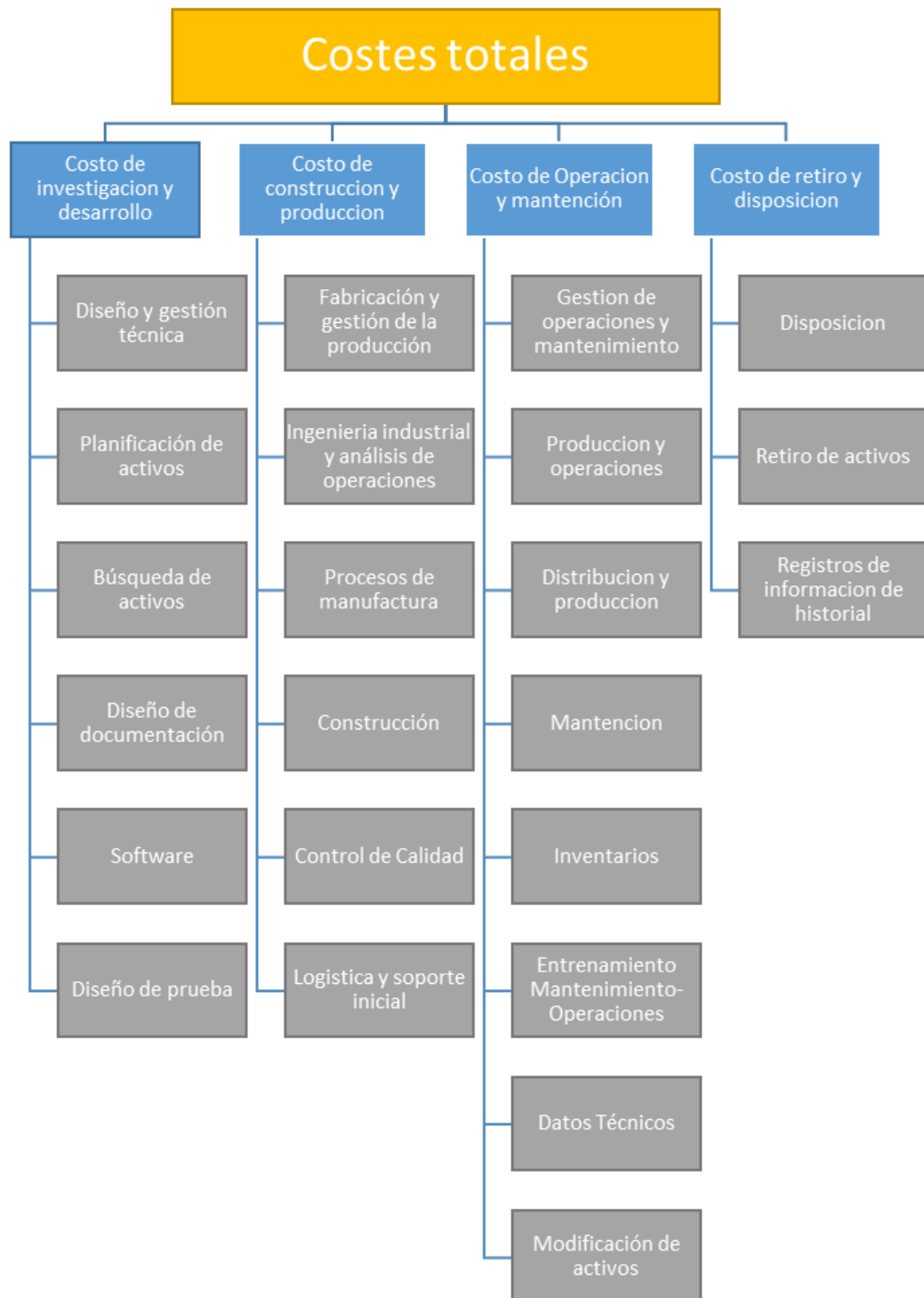


Diagrama conceptual 2-1. Fuente de la estructura de Desglose de Costes (CBS)

Fuente: Fuente: Apuntes "Técnicas de costes del ciclo de vida para la toma de decisiones en la optimización del mantenimiento" Facilitado por profesor Carlos Parra M.

Los Costes relacionados con esta etapa están vinculados a las fases iniciales del desarrollo del sistema (visualización del proyecto, ingeniería básica, conceptual y de detalle). Es importante mencionar que los resultados obtenidos en un proceso de análisis de Costes logran su máxima efectividad sólo durante esta fase de inicio (diseño). Como se presenta en la Diagrama conceptual 2-2, una vez completado el diseño, es difícil modificar sustancialmente los resultados económicos. Es más, las consideraciones económicas relacionadas con el ciclo de vida deben proponerse específicamente durante las fases mencionadas anteriormente para explotar las posibilidades de una ingeniería económica eficaz. Hay que tener en cuenta que casi dos tercios de los Costes del ciclo de vida de los activos o sistemas ya están determinados en la fase de diseño conceptual y preliminar (65-85% de las oportunidades de creación de valor y reducción de Costes). (Carlos Parra M., 2015)

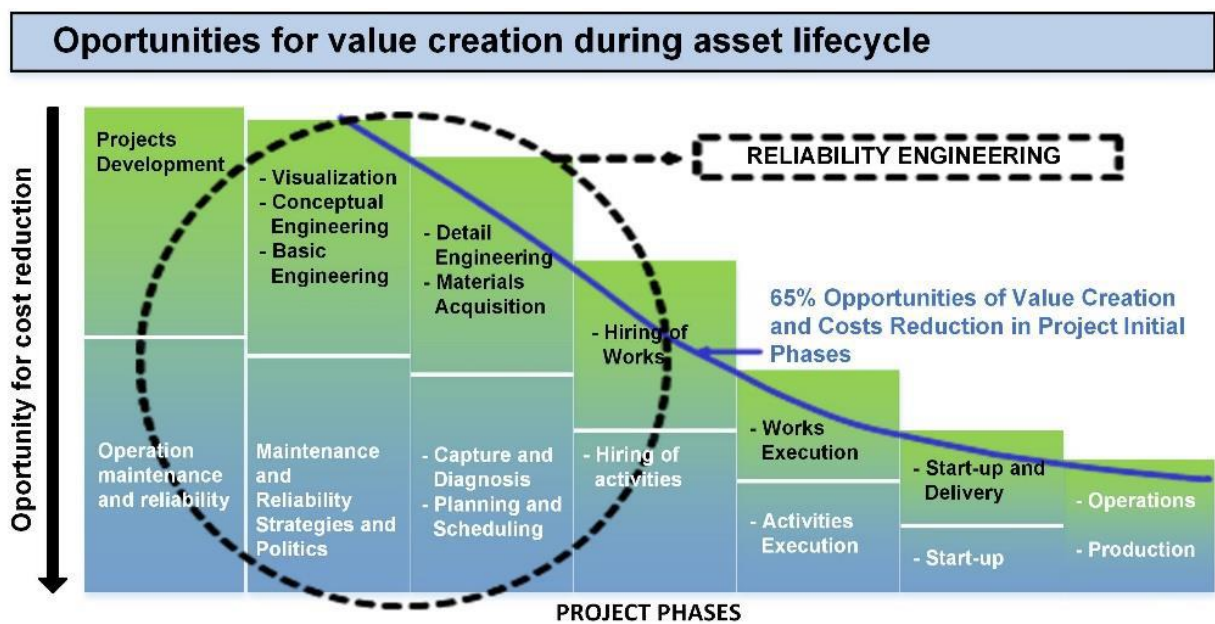


Diagrama conceptual 2-2. Oportunidades para la reducción de costes

Fuente: Apuntes “Técnicas de costes del ciclo de vida para la toma de decisiones en la optimización del mantenimiento” Facilitado por profesor Carlos Parra M.

#### 2.4.2. Impacto de la fiabilidad en la evaluación de los modelos de análisis de costo de ciclo de vida

Woodhouse plantea que para diseñar un sistema productivo eficiente y competitivo en el campo industrial actual es necesario evaluar y cuantificar el impacto económico del factor de fiabilidad a lo largo del ciclo de vida de un activo industrial. La cuantificación del factor de fiabilidad permite, en primer lugar, predecir cómo los procesos de producción pueden perder su continuidad operativa debido a eventos de fallo imprevistos (comportamiento de la frecuencia de fallo), y, en segundo lugar, analizar y evaluar el impacto económico (costes) que los fallos provocan en la seguridad, el medio ambiente, las operaciones y la producción. (Carlos Parra M., 2015)

El aspecto clave del término Fiabilidad está relacionado con la continuidad operacional. En otras palabras, se puede afirmar que un sistema de producción es "fiable" cuando es capaz de cumplir su función de manera segura y eficiente a lo largo de su ciclo de vida. Ahora bien, cuando el proceso de producción comienza a verse afectado por un gran número de fallos imprevistos (baja fiabilidad), este escenario provoca altos Costes asociados principalmente a la recuperación de la función (Costes directos) e impacto en el proceso de producción (Costes de penalización). (Carlos Parra M., 2015)

Los Costes totales de la fiabilidad (causados por fallos imprevistos), pueden caracterizarse de la siguiente forma:

##### a.) Costes de penalización:

-Tiempo de inactividad (indisponibilidad de la producción), pérdida de oportunidades de comercialización, producción diferida, pérdidas operativas, impacto en la calidad del producto, seguridad e impacto ambiental.

##### b.) Costes directos de mantenimiento correctivo:

-Mano de obra: Costes directos relacionados con la mano de obra (propia o contratada) en caso de una acción no planificada.

-Materiales y repuestos: Costes directos relacionados con los consumibles y los repuestos utilizados en caso de una acción no planificada.

La fiabilidad y la capacidad de mantenimiento de un activo tienen una repercusión considerable en los Costes durante la fase de explotación del ciclo de vida. Estas dos características están directamente asociadas con el comportamiento de los dos indicadores siguientes:

Tiempo promedio entre fallos (MTBF): Los sistemas con cifras pequeñas de MTBF reflejan valores de baja fiabilidad y alta cantidad de fallas. Se calcula como:

$$MTBF = \frac{\textit{Tiempo total operacional}}{\textit{Número de fallas}}$$

Ecuación N°3: Tiempo promedio entre fallos

Fuente: Apuntes “Técnicas de costes del ciclo de vida para la toma de decisiones en la optimización del mantenimiento” Facilitado por profesor Carlos Parra M.

Tiempo medio de reparación (MTTR): Los sistemas con un MTTR elevado reflejan valores de mantenimiento bajos (sistemas en los que necesitan mucho tiempo para poder recuperar su función). Se calcula como:

$$MTTR = \frac{\textit{Tiempo total de reparación}}{\textit{Número de fallas}}$$

Ecuación N°4: Tiempo promedio de reparación

Fuente: Apuntes “Técnicas de costes del ciclo de vida para la toma de decisiones en la optimización del mantenimiento” Facilitado por profesor Carlos Parra M.

Según Woodhouse, un factor importante del aumento de los Costes a lo largo del ciclo de vida se debe en muchas ocasiones a la falta de previsión ante la aparición inesperada de eventos de fallo, escenario provocado por la ignorancia, y a la falta de análisis en la fase de diseño de los aspectos relacionados con el factor de fiabilidad. Esta situación da lugar a un aumento de los Costes de explotación (Costes que no se consideraron en las etapas iniciales del proyecto) que afecta de esta manera a la rentabilidad del proceso de producción. En la siguiente sección se explicarán los detalles de un modelo básico, que permite evaluar el impacto económico de la fiabilidad a lo largo del ciclo de vida de un activo industrial. (Carlos Parra M., 2015)

El principal objetivo de este trabajo se basa en la aplicación de técnicas de coste de ciclo de vida de los activos del área de pabellones quirúrgicos. En primera instancia se aplican las técnicas de análisis de criticidad de dicha área, en cual el equipo monitor multiparámetros GE Datex Ohmeda Cardio Cap/5 es calificado con mayor riesgo para la operación. A través de este análisis permitirá medir el impacto económico eventual la posible renovación de este activo. (Carlos Parra M., 2015)

Para el análisis de costo de ciclo de vida se utilizará el modelo Woodward, por la eficacia y la facilidad de aplicación de esta técnica en el proceso de selección de nuevos equipos con información limitada sobre los datos de fallos. El modelo Woodward, permite calcular rápidamente las estimaciones de Costes de las fallas con un nivel matemático poco complejo, lo que puede ayudar a orientar el proceso de selección (compra) de diferentes alternativas y/o reemplazo de activos. La principal limitación del modelo de Woodward está asociada al cálculo del impacto económico de la fiabilidad, ya que este modelo propone una frecuencia de fallo constante a considerar a lo largo del ciclo de vida del activo a evaluar; en la que la realidad no se da de esta

manera, ya que normalmente la frecuencia de fallo cambia con el paso de los años debido a la influencia de diferentes factores (operaciones, mantenimiento, calidad de los materiales, entre otros). (Carlos Parra M., 2015)

#### 2.4.3. Modelo de análisis de costos de ciclo de vida de woodward

En términos generales, el modelo Woodward ACCV propone el siguiente esquema para calcular el impacto de los Costes de falla en el ciclo de vida de un activo industrial: (Carlos Parra M., 2015)

1. Establecer las condiciones de funcionamiento del sistema. Describa los modos de operación del sistema (carga completa, media carga, sin carga) y las capacidades de producción a satisfacer.
2. Establecer los factores de uso. Estos factores deben indicar el estado de funcionamiento dentro de cada modo de operación.
3. Identificar las diferentes opciones a evaluar. Seleccionar las alternativas existentes que puedan satisfacer las necesidades de producción solicitadas.
4. Identificar para cada alternativa todas las categorías de Costes básicos: inversión inicial, desarrollo, adquisición, mantenimiento planificado, reemplazo.
5. Determinar para cada alternativa los costes totales de fiabilidad (RTC). Identificar los principales tipos de fallos y la frecuencia, que será un valor constante a lo largo del ciclo de vida del activo (este aspecto se detalla a continuación).
6. Determinar los Costes críticos. Identificar las categorías de Costes de mayor impacto y analizar los factores que promueven los altos Costes (proponer estrategias de control).
7. Calcule todos los Costes en valor actual (P) para cada alternativa. Definir la tasa de descuento y el período de vida útil previsto y estimar y calcular los Costes totales en el valor actual para cada alternativa.
8. Seleccione la alternativa ganadora. Compare los Costes totales de las alternativas evaluadas y seleccione la opción que genere menores Costes para el período de vida esperado.

En cuanto al esquema anterior, el modelo de Woodward propone la siguiente ecuación para calcular los diferentes Costes que genera un activo industrial a lo largo de su ciclo de vida.

$$CTCV (P) = \sum_{T=1}^T CI + CO + CMP + CTP(f) + CMM$$

Ecuación N°5: Ecuación para calcular los diferentes Costes que genera un activo a lo largo de su ciclo de vida útil.

Fuente: Apuntes “Técnicas de costes del ciclo de vida para la toma de decisiones en la optimización del mantenimiento” Facilitado por profesor Carlos Parra M.

Dónde:

LCTC(P) = Costes totales del ciclo de vida en valor presente (P), considerando una tasa de descuento (i) y una vida útil esperada (T).

(P) = Valor Actual.

CI = Costes de adquisición e instalación, normalmente dados en valor presente.

CO = Costes de operación, normalmente dados como un valor anualizado (\*\*). 1.

CMP = Costes de mantenimiento preventivo, normalmente dados como un valor anualizado (\*\*).

1 (\*\*): Todas las categorías de gastos se convertirán en valor actual (P) a un tipo de interés (i) y a un período de vida útil previsto (T).

CTP(f) = Costes Totales de Fiabilidad (Costes de falla), normalmente dados como un valor anualizado. En este caso, se considera una tasa de fallos constante, por lo que el impacto en los Costes es el mismo en todos los años (\*\*).

CMM = Costes de Mantenimiento Mayor /especiales), normalmente dado como un valor futuro (\*\*).

En relación con la cuantificación de los Costes de fiabilidad (CTP), el modelo de Woodward propone evaluar el impacto de los principales fallos en la estructura de Costes del sistema de producción, a partir de un simple proceso que se resume a continuación: (Carlos Parra M., 2015)

En primer lugar, se determinan los tipos de fallo más importantes, y luego se asigna a cada tipo de fallo un valor constante de frecuencia de fallo (este valor no cambiará a lo largo de la vida prevista). Posteriormente, se estima el impacto en los Costes anuales generados por los fallos en la producción, las operaciones, el medio ambiente y la seguridad; y, por último, se estima en valor actual a una tasa de descuento específica. Este valor representa el impacto total de los Costes de los fallos durante los años de vida útil previstos. (Carlos Parra M., 2015)

A continuación, se presentan los pasos a seguir para estimar los Costes por fallas según el modelo de Woodward:

1. Define los tipos de fallo (f), donde  $f = 1 \dots F$  para los tipos de fallo.
2. Definir la frecuencia de fallo anual esperada  $\delta f$ . Se expresa como fallas por año. Se considera que esta frecuencia es un valor constante anual para el ciclo de vida útil previsto. Se estima como:

$$\delta f = \frac{N}{T}$$

Ecuación N°6: Fallas por año

Fuente: Apuntes “Técnicas de costes del ciclo de vida para la toma de decisiones en la optimización del mantenimiento” Facilitado por profesor Carlos Parra M.

Dónde:

N = cantidad total de fallos

T = años de vida útil esperada.

3. Estimación de los Costos relacionados con cada tipo de fallo  $C_f$  (CLP\$/falla). Incluyen Costos de las piezas de repuesto, la mano de obra, las penalizaciones por pérdida de producción y el impacto operativo.

$$C_f = \sum_{f=1}^F MTTR_f * Cpe_f$$

Ecuación N°7: Costos relacionados con cada tipo de fallo

Fuente: Apuntes “Técnicas de costes del ciclo de vida para la toma de decisiones en la optimización del mantenimiento” Facilitado por profesor Carlos Parra M.

Dónde:

MTTR = tiempo medio de reparación

$Cpe$  = Costes de penalización por hora (producción, mano de obra, repuestos), medidos en (CLP\$/hora).

4. Estimación de los Costes totales del fracaso anual  $TCP_f$  (CLP \$/año):

$$TCP_f = \sum_{f=1}^F C_f * \delta_f$$

Ecuación N°8: Costo total de fracaso anual

Fuente: Apuntes “Técnicas de costes del ciclo de vida para la toma de decisiones en la optimización del mantenimiento” Facilitado por profesor Carlos Parra M.

5. Calcular los Costes por falla en el valor actual  $PRTC_f$  (US\$). Dado un valor anualizado  $TCP_f$  su valor monetario se estima según el número de años de vida útil esperada ( $T$ ), para una tasa de descuento ( $i$ ). La ecuación para estimar el  $PRTC_f$  en valor presente es:

$$PRTC_f = TCP_f * \frac{(1+i)^T - 1}{i * (1+i)^T}$$

Ecuación N°9: Costo por falla Valor actual

Fuente: Apuntes “Técnicas de costes del ciclo de vida para la toma de decisiones en la optimización del mantenimiento” Facilitado por profesor Carlos Parra M.

Posteriormente, los costes calculados por fiabilidad se añaden al resto de los costes evaluados (inversión, mantenimiento planificado, operaciones, etc.). El Coste total se estima en valor presente para el tipo de interés seleccionado y los años de vida útil previstos; y se compara con el resultado obtenido con los Costes totales de las demás opciones evaluadas. El diagrama presentado en la figura 4 resume a grandes rasgos los aspectos esenciales de la metodología descrita. (Carlos Parra M., 2015)

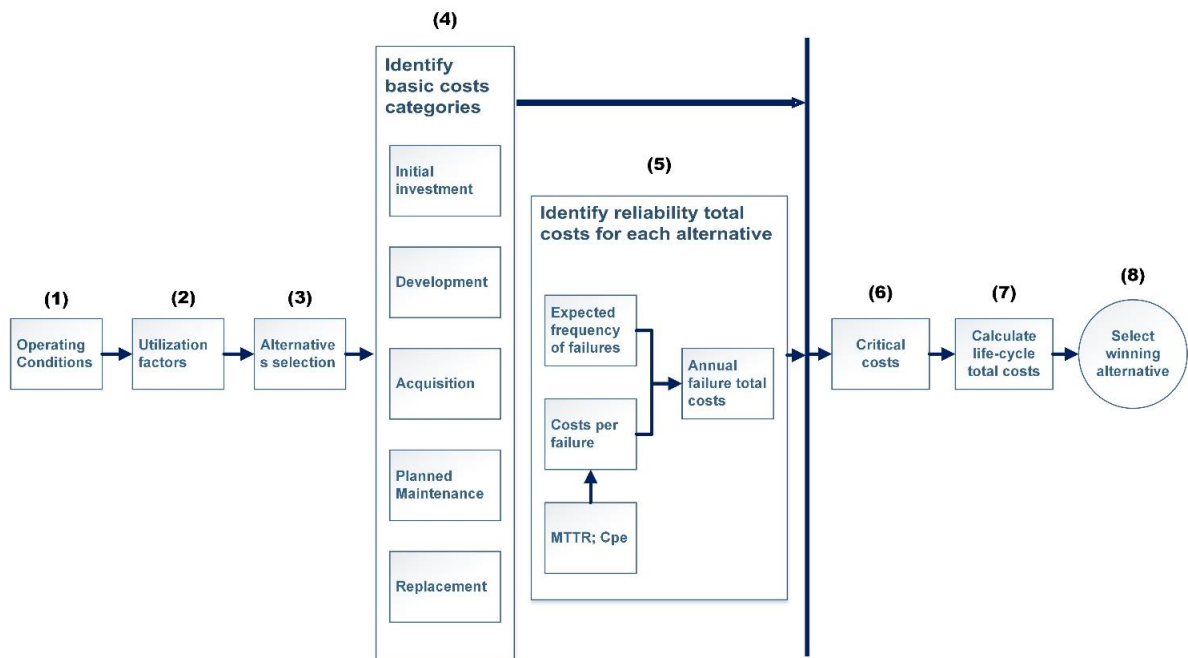


Diagrama conceptual 2-3. Diagrama de la metodología de los modelos de Woodward y ACCV

Fuente: Fuente: Apuntes “Técnicas de costes del ciclo de vida para la toma de decisiones en la optimización del mantenimiento” Facilitado por profesor Carlos Parra M.

En el siguiente capítulo se realizará aplicación de los modelos estudiados, se desarrollará la obtención de resultados técnicos y económicos que serán sometidos a análisis y recomendaciones para la mejor opción de acuerdo a este trabajo.

**CAPÍTULO 3: APLICACIÓN ANÁLISIS DE CRITICIDAD Y COSTO DE CICLO DE VIDA EN EL ÁREA DE PABELLONES QUIRÚRGICOS CLÍNICA FUNDACIÓN MÉDICA SAN CRISTÓBAL**

### 3.1. APLICACIÓN MODELO DE ANÁLISIS DE CRITICIDAD

La aplicación del modelo del Análisis de Criticidad se llevará a cabo mediante los siguientes pasos:

1. Identificación de todos los activos pertenecientes al área de pabellones quirúrgicos.
2. Definición de los factores de criticidad que se van a utilizar para evaluar la criticidad de los activos. Los factores de criticidad son: Frecuencia de fallos, Consecuencia de fallos, Impacto a la seguridad, higiene y salud del paciente, Costo por los fallos e Impacto a la operación del servicio. Aplicación de las Ecuaciones N°1 y N°2.
3. Evaluación de los activos en función de los factores de criticidad definidos.
4. Cálculo del índice de criticidad, es el resultado de las ecuaciones N°1 y N°2 definido en la tabla N°9 como RIESGO.
5. Jerarquización de los activos en función de su índice de criticidad de acuerdo a la tabla N°9.

La aplicación del Modelo de criticidad logro identificar los equipos del área de pabellones quirúrgicos de Clínica Fundación Médica San Cristóbal que se encuentran con mayores índices de criticidad, según los factores definidos anteriormente. El análisis se realizó para cada activo debido a que la utilización de estos varía según el contexto operacional por lo que afecta de diferente forma a cada uno.

El análisis arroja los siguientes resultados.

-Se analizaron 21 equipos, 7 equipos que pertenecen al pabellón N°1 y 14 al pabellón N°2.

-La metodología aplicada al pabellón quirúrgico N°1 arroja como resultado dos equipos críticos, como se muestra en la Tabla N°10:

i.) Máquina de Anestesia Drager. Calificación de 24 puntos de Riesgo.

ii.) Monitor Multiparámetros General Electric. Calificación de 30 puntos de Riesgo.

Equipamiento médico pabellón quirurgico N° 1 Clínica San Cristóbal								
Equipo	Marca	FF	SHA	CF	IP	Consecuencia	Riesgo	Jerarquización
Maquina de anestesia	Drager	1	4	3	3	24	24	Crítico
Lampara Quirurgica	Hanaultux	2	2	2	1	6	12	Alto
Monitor multiparametros	General electric	2	3	3	2	15	30	Crítico
Monitor desfibrilador	Zoll	1	1	2	2	4	4	Alto
Electrobisturi	Valley Lab	1	3	2	2	12	12	Alto
Mesa quirurgica	Mediland	1	2	4	3	14	14	Alto
Equipo de isquemia	ZIMMER	1	3	2	1	9	9	Alto

Tabla N°10: MCCR Pabellón N°1

Fuente: Elaboración propia

-La metodología aplicada al pabellón quirúrgico N°2 arroja como resultado tres equipos críticos, como se muestra en la Tabla N°11:

i.) Maquina de Anestesia Drager. Calificación de 24 puntos de Riesgo.

ii.) Monitor Multiparámetros General Electric. Calificación de 36 puntos de Riesgo.

iii.) Mesa Quirúrgica Mercedes Imec. Calificación de 28 puntos de Riesgo

Equipamiento médico pabellón quirurgico N° 2 Clínica San Cristóbal								
Equipo	Marca	FF	SHA	CF	IP	Consecuencia	Riesgo	Jerarquización
Maquina de anestesia	Drager	1	4	3	3	24	24	
Lampara Quirúrgica	Hanaulux	2	2	2	2	8	16	
Monitor multiparametros	General electric	2	3	3	3	18	36	
Monitor desfibrilador	General electric	1	1	2	2	4	4	
Electrobisturí	Valley Lab	1	3	2	2	12	12	
Mesa quirurgica	Mercedes Imec	2	2	4	3	14	28	
Equipo de isquemia	ZIMMER	1	3	2	1	9	9	
Arco en C rayos x	Philips	1	2	4	4	16	16	
Torre de laparoscopia	Fuente de luz	Stryker	1	2	3	3	12	12
	Opticas	Storz	1	2	3	3	12	12
	Monitor 32"	LG	1	1	1	2	3	3
	Video grabador	LG	1	1	1	2	3	3
	Procesador de video full HD	Karl storz	1	1	3	2	5	5
Cabezal de cámara	Karl storz	1	2	3	1	8	8	

Tabla N°11: MCCR Pabellón N°2

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N°12 se resume la cantidad de equipos pertenecientes a cada categoría de jerarquización de los activos según su índice de criticidad.

Categoría	Cantidad de equipos	Porcentaje
B	5	23,81%
M	11	52,38%
A	5	23,81%

Tabla N°12: Clasificación de riesgo del equipamiento de pabellones quirúrgicos

Fuente: Elaboración propia

El 23,81% de los equipos médicos de ambos pabellones quirúrgicos tienen un riesgo bajo de criticidad, debido a que la puntuación de jerarquización es inferior a 7 puntos. Esto se debe a que los equipos, en caso de falla, que por cierto se da 1 vez al año en un gran porcentaje dentro de esta categoría, no afectan significativamente a la salud de los pacientes y que puede ser utilizado o no durante el proceso de cirugías. Los costos asociados a las fallas son de carácter menor a diferencia de otros activos con calificación mayor de riesgo.

Un porcentaje bastante significativo del 52,38 %, es decir más de la mitad de la totalidad de los equipos de ambos pabellones quirúrgicos de Clínica Fundación Médica San Cristóbal pertenecen a la categoría de clasificación media del índice de riesgo. Hay que tener en cuenta que el equipamiento médico es sumamente delicado y que los costos pueden ser muy elevados a la hora de realizar algún mantenimiento preventivo o correctivo, es por ello que resalta el costo de los fallos e impacto a la operación del servicio. Además, teniendo en cuenta que cada equipo de esta categoría, es indispensable para cada servicio de cirugía por lo que ante un eventual fallo podría ser bastante perjudicial y eso se ve reflejado en la matriz de riesgo aplicada.

En la categoría de alto riesgo, con una puntuación entre 20 y 48 puntos, se encuentran cinco equipos médicos que pertenecen al 23,81% de la totalidad. La asignación de esas puntuaciones se debe a la relevancia de dichos equipos en el proceso quirúrgico de ambos pabellones, ya que en su ausencia o algún modo de falla la puntuación sería la más alta, lo que generaría valores críticos.

La categoría de alto riesgo comprende los siguientes equipos médicos:

<b>Equipamiento</b>	<b>Puntuación</b>	<b>Área</b>
Monitor Multiparámetros GE Datex Ohmeda Cardio Cap/5	36	Pabellón N°2
Monitor Multiparámetros GE Datex Ohmeda Cardio Cap/5	30	Pabellón N°1
Mesa quirúrgica Mercedes Imec	28	Pabellón N°2
Máquina de anestesia Drager	24	Pabellón N°1
Máquina de anestesia Drager	24	Pabellón N°2

Tabla N°13: Equipamiento con índice de nivel alto riesgo ordenado con puntuación de mayor a menor

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, se selecciona el equipo con mayor puntuación de criticidad que corresponde al Monitor Multiparámetros GE Datex Ohmeda Cardio Cap/5 para ser caso de estudio a Análisis de Costo de Ciclo de Vida.

### 3.2. APLICACIÓN MODELO DE ANÁLISIS DE COSTO DE CICLO DE VIDA

El análisis de costo de ciclo de vida (ACCV) es una herramienta que permite evaluar los costos totales de un proyecto o activo a lo largo de su vida útil. El modelo de Woodward es un método específico de ACCV que se centra en los costos de operación y mantenimiento.

Para comenzar este estudio se recopilará información sobre todos los costos asociados al reacondicionamiento del Monitor multiparámetros GE Datex Ohmeda Cardio Cap/5. Estos costos se indican en la tabla N°14. Contempla accesorios mecánicos, accesorios electrónicos, accesorios de Hardware y accesorios externos.

Item		Costo
Accesorios Externos	Cable spO2 Adultto Clip	\$ 79.000
	Cable paciente ECG (Electrocardiografia)	\$ 67.000
	Cable de poder	\$ 15.000
	Brazaletes adulto 2 vías	\$ 14.000
Repuestos mecanicos	(Partes plasticas, perillas, conectores, carcasas, panel, etc)	\$ 350.000
Repuestos electronicos	Bateria 3Ah 12V	\$ 91.000
	Módulo de adquisicion Hemodinamica	\$ 500.000
	Modulo de Adquisición de gases	\$ 1.200.000
	Fisubles	\$ 50.000
	Cables de poder (AC/DC)	\$ 25.000
	Adaptadores (NIBP F-MX, F-MXG)	\$ 340.000
	Pantalla LCD	\$ 1.100.000
	Luces LCD	\$ 150.000
	Bateria de litio CPU	\$ 250.000
	Tabla CPU	\$ 1.550.000
	Teclado	\$ 130.000
	Tablero de conector y unidad PVX	\$ 65.000
	Unidad de parametros presiones invasivas (modulo NIPB)	\$ 1.100.000
	Modulo Electrocardiografós ECG	\$ 400.000
	Modulo IPB	\$ 250.000
	Hardware	\$ 300.000
TOTAL		\$ 8.026.000

Tabla N°14: Costo Reacondicionamiento MMP GE CardioCap/5

Fuente: Elaboración propia

La siguiente aplicación del modelo de Woodward se desarrolló para identificar la mejor opción técnico-económica, entre el reacondicionamiento y la adquisición de un Monitor Multiparámetros. Se realiza estudio del caso.

- a. Opción N°1. Costos totales del Ciclo de Vida aplicado al reacondicionamiento del Monitor Multiparámetros General Electric Datex Ohmeda CardioCap/5. Si bien, el equipamiento, cual será restaurado, el análisis expuesto en las siguientes tablas aportará información sobre los costos de manera más precisa para la toma de decisiones posterior, en comparativa con la adquisición de un monitor nuevo.

Para determinar el Costo total de Ciclo de Vida del equipo se debe comenzar aplicando la ecuación N°6 donde se obtiene como resultado la frecuencia de fallos del equipo, que corresponde a la cantidad de dos fallas/año según la tabla N°10 del Análisis de Criticidad. Por otra parte, se estima una vida útil de 10 años, considerando

los avances tecnológicos y la pronta obsolescencia de los repuestos para el equipamiento médico. La tabla N°15 presenta los resultados obtenidos.

FRECUENCIA DE FALLAS ANUAL (Falla/año)		
Cantidad de fallos	N	2
Años de vida útil esperada	T	10
Frecuencia falla anual (falla/año)	Df	0,2

Tabla N°15: Resultado aplicación de ecuación Frecuencia de falla anual equipamiento reacondicionado

Fuente: Elaboración propia

El cálculo de los costos relacionados con los fallos es el producto del tiempo medio de reparación (MTTR), que se ajusta a un valor de 12 horas debido a la cantidad de tiempo invertido en llevar a cabo la actividad para este equipo, por el Costo de Penalización que equivale a \$900.000 Clp. Se aplica la ecuación N°7 y los resultados se ven reflejados en la Tabla N°16.

COSTOS DE LOS FALLOS (\$/FALLA)		
Tiempo medio de reparación (Hora)	MTTR	\$ 12
Costo de penalización (\$/hora)	Cpe	\$ 900.000
Costos de los fallos (\$/falla)	Cf	\$ 10.800.000

Tabla N°16: Resultado aplicación de ecuación Costos relacionados con cada tipo de fallo equipamiento reacondicionado.

Fuente: Elaboración propia

Con los resultados de Frecuencia anual de fallas y los Costos de los fallos, se puede obtener los Costos totales por fracaso anual, por la aplicación de la ecuación N°8 y así lo representa la Tabla N°17.

COSTOS TOTALES POR FRACASO ANUAL		
Costos de los fallos (\$/falla)	Cf	\$ 10.800.000
Frecuencia falla anual (falla/año)	Df	0,2
Costos totales por fracaso anual (\$/año)	TCP	\$ 2.160.000

Tabla N°17: Resultado aplicación de ecuación Costos totales por fracaso anual equipamiento reacondicionado.

Fuente: Elaboración propia

Se definen y calculan todos los costos asociados al ciclo de vida del activo tal cual indica la ecuación N°5 y se lleva a valor presente. Los resultados obtenidos se pueden apreciar en la tabla N°18.

Datos		Costo equipo reacondicionado
CI	Costo inicial	\$ 8.026.000
CO	Costo operacional (Anual) (Valor Presente)	\$ 768.709
	Enrenamiento personal	\$ 500.000
	Insumos consumibles	\$ 600.000
	Otros gastos operacionales	\$ 150.000
CMP	Costo mantenimiento preventivo (Anual) (Valor Presente)	\$ 2.365.658
TCP	Costo Total por fiabilidad (Costo de falla) (Valor Presente)	\$ 13.272.265
CMM	Costo revision Mtto correctivo (Anual) (Valor Presente)	\$ 1.018.182
i	Tasa de interes	10%
T	Periodo de vida util previsto	10 años
Costo de ciclo de vida total Valor Presente		\$ 25.450.814

Tabla N°18: Costos de ciclo de vida Equipo Reacondicionado Valor Presente.

Fuente: Elaboración propia

- b. Opción N°2. Costos totales del ciclo de vida por la adquisición de un Monitor Multiparámetros General Electric Datex Ohmeda CardioCap/5. La compra de un equipo nuevo podría ser en primera instancia ventajoso, sin embargo, hay que tener en cuenta los elevados costos que trae consigo esta decisión, ya sea, por ejemplo, capacitación y entrenamiento de nuevas tecnologías, costos de mantenimiento preventivo y correctivo, accesorios y repuestos entre otros.

La cantidad de fallos será de 1, debido a la baja probabilidad de fallo considerando que el equipamiento es nuevo. Mantiene su vida útil de 10 años. La frecuencia de fallos anual se expone en la Tabla N°19.

FRECUENCIA DE FALLAS ANUAL (Falla/año)		
Cantidad de fallos	N	1
Años de vida util esperada	T	10
Frecuencia falla anual (falla/año)	Df	0,1

Tabla N°19: Resultado aplicación de ecuación Frecuencia de falla anual equipamiento nuevo.

Fuente: Elaboración propia

A diferencia del cálculo de los costos por los fallos del equipo reacondicionado, el tiempo medio de reparación (MTTR) se reduce en un 50% debido a que cuenta con una mayor cantidad y disponibilidad de repuestos. Desde un punto de vista técnico, se optará por reemplazar los componentes que presenten fallos en lugar de repararlos, lo cual resulta un MTTR menor. El costo de penalización se mantiene.

COSTOS DE LOS FALLOS (\$/FALLA)		
Tiempo medio de reparacion (Hora)	MTTR	\$ 6
Costo de penalizacion (\$/hora)	Cpe	\$ 900.000
Costos de los fallos (\$/falla)	Cf	\$ 5.400.000

Tabla N°20: Resultado aplicación de ecuación Costos relacionados con cada tipo de fallo equipamiento nuevo.

Fuente: Elaboración propia

Los costos totales por fracaso anual corresponden al valor de \$540.000 Clp. Como se indica en la Tabla N°21.

COSTOS TOTALES POR FRACASO ANUAL		
Costos de los fallos (\$/falla)	Cf	\$ 5.400.000
Frecuencia falla anual (falla/año)	Df	0,1
Costos totales por fracaso anual (\$/año)	TCP	\$ 540.000

Tabla N°21: Resultado aplicación de ecuación Costos totales por fracaso Anual equipamiento nuevo.

Fuente: Elaboración propia

La tabla N°22 presenta los costos asociados por la aplicación del Análisis de Costo de Ciclo de Vida para la adquisición de un Monitor Multiparámetros GE Datex Ohmeda Cardio Cap/5 nuevo. Los costos indicados se calculan a valor presente.

Datos		Costo de equipo nuevo
CI	Costo inicial	\$ 11.100.000
CO	Costo operacional (Anual) (Valor Presente)	\$ 768.709
	Enrenamiento personal	\$ 500.000
	Insumos consumibles	\$ 600.000
	Otros gastos operacionales	\$ 150.000
CMP	Costo mantenimiento preventivo (Anual) (Valor Presente)	\$ 4.792.762
TCP	Costo Total por fiabilidad (Costo de falla) (Valor Presente)	\$ 3.318.066
CMM	Costo revision Mtto correctivo (Anual) (Valor Presente)	\$ 1.090.909
i	Tasa de interes	10%
T	Periodo de vida util previsto	10 años
Costo de ciclo de vida total Valor Presente		\$ 21.070.447

Tabla N°22: Costos de ciclo de vida Equipamiento nuevo valor presente

Fuente: Elaboración propia

### 3.3. RESULTADOS OBTENIDOS

La Tabla N°23 detalla los costos de ciclo de vida del equipamiento reacondicionado versus el equipamiento nuevo.

Datos	Costo equipo reacondicionado	Costo de equipo nuevo
Costo inicial	\$ 8.026.000	\$ 11.100.000
Costo operacional (Anual) (Valor Presente)	\$ 768.709	\$ 768.709
Enrenamiento personal	\$ 500.000	\$ 500.000
Insumos consumibles	\$ 600.000	\$ 600.000
Otros gastos operacionales	\$ 150.000	\$ 150.000
Costo mantenimiento preventivo (Anual) (Valor Presente)	\$ 2.365.658	\$ 4.792.762
Costo Total por fiabilidad (Costo de falla) (Valor Presente)	\$ 13.272.265	\$ 3.318.066
Costo revision Mtto correctivo (Anual) (Valor Presente)	\$ 1.018.182	\$ 1.090.909
Tasa de interes	10%	10%
Periodo de vida util previsto	10 años	10 años
Costo de ciclo de vida total Valor Presente	\$ 25.450.814	\$ 21.070.447

Tabla N°23: Tabla comparativa Costos de Ciclo de Vida equipo reacondicionado versus equipamiento nuevo.

Fuente: Elaboración propia

El resultado obtenido por los análisis aplicados en el presente capítulo se resume en la Tabla N°23 que cuantifica los costos asociados al ciclo de vida del Monitor Multiparámetros GE Daten Ohmeda Cardio Cap/5.

El costo inicial, costo operacional, entrenamiento personal, consumibles y otros gastos, son costos que se mantienen fijos, es decir son designados de acuerdo a la oferta y demanda de los fabricantes y representantes de la marca. Los costos por mantenimiento también se podría decir su valor se mantiene fijo, la diferencia es que varía de acuerdo a las fallas que puedan presentarse en el periodo de un año, así mismo se puede observar que los costos por mantenimiento preventivo anual tienen una diferencia de casi \$2.000.000 Clp. debido a que las nuevas tecnologías implementadas y entrenamiento de personal tiene un valor más alto a diferencia del equipo reacondicionado.

El costo con mayor relevancia entre las opciones corresponde al Costo total por fiabilidad. La opción N°1 se incrementa en un 300% debido al número de fallas que presenta el equipo en dicho periodo. La frecuencia de fallas anual corresponde a un valor de 0,2 fallas/año y el tiempo medio de reparación es de 12 horas, y respecto al equipamiento nuevo corresponde a 0,1 fallas/año y el MTTR a 6 horas. Se podría deducir que el equipamiento nuevo baja en un 50% las tasas e indicadores mencionados, sin embargo, si esto se plasma en costos, el aumento del costo total por fiabilidad de ambos, marcan un 300% de diferencia, por el solo hecho de tener 2 fallas al año, lo que por razones lógicas aumenta también en MTTR.

La aplicación del modelo de Análisis de Criticidad proporcionó las directrices para lograr clasificar el equipamiento médico del área de pabellón, y las técnicas y herramientas que son de gran ayuda para complementar el modelo expuesto. Se mencionan algunas ventajas de utilizar en modelo.

-La Planificación del mantenimiento: Para identificar los activos que requieren una atención prioritaria. El caso de estudio, entrego resultados relevantes para centrar la atención en los activos críticos. A partir de esto se hace necesario aplicar herramientas de gestión del mantenimiento para ayudar a mejorar la fiabilidad, la seguridad y la eficiencia del área de pabellones quirúrgicos.

Un dato significativo que se ha mencionado en reiteradas ocasiones es la antigüedad de los equipos médicos que se utilizan en los pabellones quirúrgicos de Clínica Fundación Médica San Cristóbal. Si bien un 25% pertenecen a los activos críticos con calificación de “Alto Riesgo”, un dato a tener en cuenta y es necesario darle seguimiento, son los activos que se ubican en el rango de “Medio Riesgo” ocupando el 50% del total de los activos del área.

-Asignación de recursos de mantenimiento a los activos en función de su criticidad: Es el proceso de asignar recursos humanos, técnicos y económicos a las actividades de mantenimiento. El objetivo de la asignación de recursos es garantizar que las actividades de mantenimiento se realicen de manera eficiente y efectiva, cumpliendo con los objetivos de mantenimiento de la Clínica para el equipamiento médico.

Estos recursos pueden incluir personal de mantenimiento, herramientas y equipos, y materiales y repuestos.

### **3.4. ASPECTOS IMPORTANTES A CONSIDERAR PARA IMPLEMENTAR ACCR Y ACCV, RESPECTO A LAS LECCIONES APREDIDAS POR ESTAS METODOLOGÍAS**

A.) Modelo de Análisis de Criticidad para el área de pabellones quirúrgicos:

Permite priorizar los activos más críticos del centro médico, esto ayuda a enfocar sus recursos en los activos o procesos que son más importantes para la seguridad, la productividad y el cumplimiento normativo. Es una herramienta flexible que puede adaptarse a las necesidades específicas.

El modelo se basa en factores cuantificables, como la probabilidad de ocurrencia y el impacto del riesgo, lo que ayuda a evitar tomar decisiones basadas en opiniones o preferencias subjetivas.

La aplicación del modelo contribuye principalmente a mejorar la seguridad, ya que permite identificar los activos críticos y, en consecuencia, implementar controles de seguridad adicionales o llevar a cabo distintos tipos de mantenimiento. Asimismo, otorga las directrices para aumentar la productividad de los activos más relevantes, lo que, en el caso de la clínica, podría traducirse en una mayor eficiencia operativa y una reducción de costos. Todo esto genera un efecto en cadena, dado que mantener el equipamiento en óptimas condiciones no solo garantiza su correcto funcionamiento, sino que también facilita el cumplimiento normativo, minimizando el riesgo de incumplimientos y posibles sanciones conforme a la legislación vigente.

El modelo depende de la calidad de los datos utilizados para evaluar la criticidad de los activos. Si los datos son inexactos o incompletos, el modelo puede producir resultados poco precisos. Además, el modelo debe ser utilizado de forma adecuada para que sea eficaz.

La evaluación de la probabilidad de ocurrencia y el impacto del riesgo puede ser subjetiva, lo que puede afectar a la confiabilidad del modelo, es por ello que se recomienda conocer por completo la operación del área. La implementación y el uso del modelo de análisis de criticidad puede ser complejo y con un costo considerable, lo que puede limitar su uso en organizaciones pequeñas o con recursos limitados. El impacto del riesgo puede ser difícil de cuantificar, sobre todo si no se conoce por completo el proceso de aplicación.

## B.) Modelo de Análisis de Costo de Ciclo de Vida para el área de pabellones quirúrgicos:

La metodología de Análisis de Costo de Ciclo de Vida posee fortalezas para la gestión eficiente de recursos y la toma de decisiones, así como también debilidades que pueden complicar un poco la implementación. Se nombran a continuación:

**Visión Integral de Costos:** Considera los costos a lo largo de toda la vida útil del pabellón quirúrgico, desde la concepción hasta la operación y eventual renovación. Esto proporciona una visión más completa de los costos en comparación con enfoques más limitados en el tiempo. Se maneja con mayor eficiencia y eficacia los costos.

**Incorporación de Costos Ocultos:** Permite la identificación y cuantificación de costos que podrían pasarse por alto en un análisis de costos convencional, como los relacionados con el mantenimiento, la operación, la energía y otros aspectos a lo largo del ciclo de vida del activo.

**Toma de Decisiones Informada:** Facilita la toma de decisiones informada al considerar no solo los costos iniciales de diseño, sino también los costos operativos a largo plazo. Esto es crucial para evaluar la rentabilidad a lo largo del tiempo y tomar decisiones que minimicen los costos totales.

**Optimización de Recursos:** Permite identificar oportunidades para optimizar el uso de recursos y reducir costos a lo largo del tiempo. Esto puede incluir decisiones de diseño, selección de materiales y tecnologías más eficientes.

**Planificación de Mantenimiento y Renovación:** Ayuda a planificar el mantenimiento y eventuales renovaciones de manera más efectiva, evitando sorpresas y asegurando que se asignen recursos adecuados para mantener el activo en condiciones óptimas.

**Evaluación de Alternativas:** Permite comparar diferentes alternativas de diseño y construcción desde una perspectiva de costos totales. Esto es valioso para seleccionar opciones que proporcionen el mejor valor a lo largo del ciclo de vida del activo de pabellón quirúrgico.

**Complejidad en la Recopilación de Datos:** La implementación del modelo puede ser compleja y requerir una recopilación extensa de datos.

**Incertidumbre en las Proyecciones a Largo Plazo:** La predicción precisa de costos puede ser difícil debido a la incertidumbre en factores como los costos futuros de energía, los cambios en las tarifas de servicios públicos y las tasas de inflación.

**Cambios Tecnológicos:** La tecnología médica y los estándares en el cuidado de la salud pueden cambiar rápidamente. Esto puede hacer que las proyecciones a largo plazo sean menos precisas, especialmente en un entorno donde las actualizaciones tecnológicas pueden ser necesarias para mantener la eficiencia y la calidad del servicio.

**Dificultad en la Evaluación de Beneficios No Monetarios:** La calidad de la atención y la satisfacción del paciente son aspectos críticos que podrían no estar totalmente reflejados en esta metodología.

Falta de Consistencia en los Datos: Puede haber falta de consistencia en la calidad y disponibilidad de los datos, especialmente si se obtienen de diferentes fuentes. Esto puede afectar la validez de los resultados y la comparabilidad entre diferentes alternativas.

A pesar de estas debilidades, esta metodología sigue siendo una herramienta valiosa, siempre y cuando se realice con atención a las limitaciones y se complementa con otras consideraciones relevantes para el entorno específico de un pabellón quirúrgico.

### C.) Impacto en la Confiabilidad del Modelo de Análisis de Criticidad

El impacto en la confiabilidad y disponibilidad de las metodologías utilizadas en este estudio puede ser muy significativo ya que, por un lado, el modelo de análisis de criticidad fue utilizado para priorizar los activos del centro hospitalario para el área de pabellones quirúrgicos. Por lo tanto, un modelo de análisis de criticidad preciso y confiable ayuda a enfocar sus recursos en los activos que son más importantes para la seguridad, la productividad y el cumplimiento normativo. El modelo de análisis de costo de ciclo de vida se utiliza para evaluar el costo total de un activo o proyecto durante su vida útil. Por lo tanto, un modelo de Análisis de Criticidad preciso y confiable puede ayudar a tomar decisiones más informadas sobre la adquisición, el mantenimiento y la disposición final de los equipos médicos considerando la cantidad de años en servicio.

Los siguientes factores pueden tener un impacto en la confiabilidad y disponibilidad en las metodologías utilizadas:

La calidad de los datos, la confiabilidad del modelo de análisis de criticidad depende en gran medida de la calidad de los datos utilizados para evaluar la criticidad de los activos o procesos. Los datos analizados en este estudio son lo más cercano a la realidad, ya que se cuenta con documentación de respaldo, ya sea con historiales técnicos y documentos propiamente tales de los equipos del área de pabellones quirúrgicos.

La metodología utilizada para evaluar la criticidad de los activos o procesos también puede afectar a la confiabilidad del modelo. Una metodología bien diseñada y aplicada correctamente puede producir resultados más precisos que una metodología deficiente o mal aplicada.

La experiencia y los conocimientos del usuario del modelo también pueden afectar a su confiabilidad. Los usuarios que tienen una buena comprensión de las metodologías y de los factores que afectan a los activos y procesos pueden utilizarlo de forma más eficaz y precisa. Por lo que se hace necesario la capacitación y difusión de estas metodologías a nivel de organización-

#### D.) Impacto en la confiabilidad del Modelo de Análisis de Costo de Ciclo de Vida

El estudio de un análisis de costo de ciclo de vida en el área de un pabellón quirúrgico puede tener un impacto significativo en el funcionamiento y la eficiencia del área. El ACCV es una herramienta que permite evaluar los costos totales de un activo a lo largo de su vida útil, incluyendo los costos de adquisición, operación, mantenimiento y eliminación.

En este caso de estudio el ACCV ayudar a identificar y cuantificar los costos asociados con los activos del pabellón (Equipos Médicos), para así tomar decisiones informadas respaldadas sobre la adquisición, el mantenimiento y la eliminación de estos activos adecuando las necesidades como prioridad.

Además, el ACCV puede ayudar a identificar oportunidades de mejora en la eficiencia del pabellón quirúrgico en cuanto al mantenimiento preventivo y/o correctivo, reduciendo los costos y mejorando la calidad de la atención médica.

## CONCLUSIÓN

El Área de pabellones quirúrgicos de Clínica Fundación Médica San Cristóbal es la más importante, relevante y crítica dentro del recinto debido a los procedimientos críticos que se realizan, involucrando vidas humanas y equipamiento sumamente delicado y costoso para llevarlos a cabo. Es por eso que la correcta utilización tanto a nivel usuario y técnico de este equipamiento obtendría un resultado exitoso con respecto a los distintos procedimientos.

Si bien, en Clínica San Cristóbal desde el momento en que inició sus operaciones nunca ha sufrido algún incidente con resultado de muerte, tampoco se puede esperar que ocurra aquello para tomar decisiones, ya que eso traería consigo solo resultados negativos desde demandas judiciales hasta pérdida de prestigio, y la ausencia de atenciones médicas a nivel de Clínica.

El equipamiento médico actual de la Clínica se adquirió por lo menos hace 15 años atrás. Todo este tiempo se han realizado correctamente las mantenciones al equipamiento, tanto por la recomendación del fabricante y la normativa legal. A través del tiempo es normal que se produzca un desgaste y no funcione con su 100% de capacidad como lo fue al inicio de su funcionamiento.

El motivo por el cual se llevó a cabo este estudio, es la cantidad de años que lleva operando los mismos equipos médicos. Se ha mencionado que lo recomendado por fabricante en general no supera los 10 años de vida útil.

El Análisis de Criticidad proporciona información sobre el activo que se encuentra en peores condiciones de acuerdo a una cuantificación de riesgo por probabilidad. El 25% de todos los activos evaluados del área corresponden a un valor crítico alto, dado que el impacto durante su operación es altísimo. Un porcentaje bastante significativo corresponde al 50% con valorización crítica media. En caso de realizarse otro análisis a futuro, lo más probable que cambie su valoración a alta, por ello es importante tenerla en consideración.

En la categorización de criticidad alta se encuentran 5 equipos, en los cuales los valores de criticidad según la tabla N°11 son similares, pero hay un rango que resalta para definir la calificación final, este es el número de fallas anual del equipo, por lo tanto, el equipamiento con calificación crítica alta corresponde al Monitor Multiparámetros General Electric Datex Ohmeda Cardio cap/5.

El activo seleccionado con calificación más alta es caso de estudio del análisis de costo de ciclo de vida, cual fin es entregar información detallada de los costos asociados a lo largo de su vida útil y así poder tomar la mejor decisión sobre un reacondicionamiento o la adquisición de un equipo nuevo.

Los resultados de este análisis como lo expone la tabla N°23. Se puede concluir que el costo que genera mayor diferencia entre ambos es el costo total por fiabilidad, esto debido a que el activo actual posee 2 fallas/anual y el equipo nuevo solo 1. Se puede dimensionar el incremento sumamente alto por el hecho de solo aumentar en un fallo por año. Considerar además que la cantidad de fallos del equipo fue en el periodo de un año, esto por supuesto puede modificarse ya que el equipo ha superado la vida útil, por lo que se dificulta realizar reparaciones preventivas y

correctivas debido a la obsolescencia de su tecnología. La tabla N°23 arroja con un costo mayor el equipamiento para hacer reacondicionamiento con casi \$4.000.000 Clp de diferencia.

Como recomendación final se propone la adquisición de un equipo nuevo, principalmente por la cantidad de años que se lleva utilizando, la cual ha superado su vida útil, por lo que es mas probable que ocurran fallas y los costos totales por fiabilidad se verán aumentados significativamente. Los mantenimientos preventivos se pueden realizar ya que la línea de monitores GE son similares, sin embargo, los costos de penalización, tiempos de espera, obsolescencia de repuestos y la confiabilidad del equipamiento reacondicionado tiene mayor riesgo e impactos económicos para el procedimiento provocando aumento de los costos.

## BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

- Carlos Parra M., P. V. (2015). TÉCNICAS DE COSTES DEL CICLO DE VIDA PARA LA TOMA DE DECISIONES EN LA OPTIMIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO. CASO DE ESTUDIO: INDUSTRIA DEL PETRÓLEO Y GAS. *Publicaciones DYNA SL*, 21.
- Carolis, D. V. (s.f.). *Mentoplastía*. Obtenido de Mentoplastía aumento del mentor con implante: <https://www.vicentedecarolis.cl/cirugia-del-menton-mentoplastia.html>
- Clinic, P. d. (07 de Marzo de 2025). *Cirugía mamoplastía de reducción*. Obtenido de Cirugía reducción mamaría: <https://www.mayoclinic.org/es/tests-procedures/breast-reduction-surgery/about/pac-20385246>
- Clinic, P. M. (14 de Junio de 2022). *Blefaroplastía*. Obtenido de Blefaroplastía descripción general: <https://www.mayoclinic.org/es/tests-procedures/blepharoplasty/about/pac-20385174>
- Clinic, P. M. (07 de Marzo de 2025). *Cirugía de mamoplastía de aumento*. Obtenido de Aumento de senos - Mayo Clinic: <https://www.mayoclinic.org/es/tests-procedures/breast-augmentation/about/pac-20393178>
- confiabilidad, C. d. (23 de Febrero de 2022). *Análisis de criticidad: Qué es y por qué es importante*. Obtenido de Análisis de criticidad: Qué es y por qué es importante: <https://cmc-latam.com/2022/02/23/analisis-de-criticidad-que-es-y-por-que-es-importante/>
- estetica, S. e. (s.f.). *¿Qué es cirugía plástica?* Obtenido de ¿Qué es cirugía plástica?: <https://secpre.org/que-es-la-cirugia-plastica>
- HLA, G. h. (s.f.). *Cirugía ginecológica*. Obtenido de Cirugía ginecológica: <https://www.blogdehla.es/cirugia-ginecológica-las-intervenciones-más-frecuentes/>
- Hopkinmedicine. (s.f.). *Cirugía de Rizotomía*. Obtenido de Cirugía de Rizotomía: <https://www.hopkinsmedicine.org/international/espanol/conditions-treatments/pediatric-neurosurgery/selective-dorsal-rhizotomy.html#:~:text=En%20la%20rizotom%C3%ADa%20un%20neurocirujano,muscular%20a%20los%20m%C3%BAsculos%20afectados>
- medicina, B. n. (10 de Noviembre de 2022). *Cirugía Histeroscopia*. Obtenido de Cirugía Histeroscopia: <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/007571.htm>
- medicina, B. n. (08 de Agosto de 2023). *Cirugía de Artrodeses Vertebral*. Obtenido de Cirugía de Artrodeses Vertebral: <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/002968.htm#:~:text=Es%20una%20cirug%C3%ADa%20para%20fusionar,Estos%20huesos%20se%20denominan%20v%C3%A9rtebrae>
- medicina, B. n. (08 de Diciembre de 2023). *Cirugía de artroscopia del hombro*. Obtenido de Cirugía de artroscopia del hombro: [https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/007206.htm#:~:text=Es%20una%20cirug%C3%ADa%20en%20la,\(incisi%C3%B3n\)%20en%20la%20piel](https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/007206.htm#:~:text=Es%20una%20cirug%C3%ADa%20en%20la,(incisi%C3%B3n)%20en%20la%20piel)
- medicina, B. n. (24 de 04 de 2023). *Cirugía de liberación del túnel carpiano*. Obtenido de Cirugía de liberación del túnel carpiano: <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/002976.htm#:~:text=Se%20hace%20una%20peque%C3%B1a%20incisi%C3%B3n,el%20tejido%20alrededor%20del%20nervio>
- medicina, B. n. (31 de Marzo de 2024). *Histerectomía*. Obtenido de Histerectomía: <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/002915.htm>
- MEDS, C. (s.f.). *Artroscopia o cirugía artroscópica*. Obtenido de Artroscopia o cirugía artroscópica: <https://www.meds.cl/artroscopia-cirugia-artroscopica/>

- MEDS, C. (s.f.). *Cirugía Hallux Valgus*. Obtenido de Cirugía Hallux Valgus (Juanete): <https://www.meds.cl/cuando-preocuparse-hallux-valgus-juanete/>
- ORL, D. D.-C. (20 de Enero de 2024). *Rinoplastia | Septoplastia | Rinoseptoplastia | Conceptos básicos*. Obtenido de Rinoplastia | Septoplastia | Rinoseptoplastia | Conceptos básicos  
Web site: <https://www.danilomantilla.org/post/rinoplastia-septoplastia-rinoseptoplastia-conceptos-basicos#:~:text=La%20rinoseptoplastia%2C%20conocida%20tambi%C3%A9n%20como%20parte%20funcional%20de%20la%20nariz.>
- Salud, C. R. (s.f.). *Abdominoplastía: dile adiós a la flacidez del abdomen*. Obtenido de Abdominoplastía: dile adiós a la flacidez del abdomen: <https://www.redsalud.cl/medicos-y-especialidades/especialidad/abdominoplastia>
- salud, C. R. (s.f.). *Cirugía de hernia de núcleo pulposo*. Obtenido de Cirugía de hernia de núcleo pulposo: <https://www.redsalud.cl/medicos-y-especialidades/especialidad/cirugia-de-hernia-de-nucleo-pulposo#:~:text=La%20cirug%C3%ADa%20de%20hernia%20de%20n%C3%BAcleo%20pulposo%20en%20columna%20lumbar,del%20tratamiento%20de%20la%20hernia.>
- salud, C. R. (s.f.). *Cirugía traumatológica*. Obtenido de Cirugía traumatológica: <https://www.redsalud.cl/nuestra-red/campanas/cirugias-de-traumatologia#:~:text=Las%20cirug%C3%ADas%20traumatol%C3%B3gicas%20son%200tratamientos,y%20la%20cirug%C3%ADa%20de%20mano.>
- Sanz, C. (s.f.). *¿Qué es la lipoabdominoplastia? Técnica para eliminar la grasa y la flacidez del abdomen*. Obtenido de ¿Qué es la lipoabdominoplastia? Técnica para eliminar la grasa y la flacidez del abdomen.: <https://www.plasticadrsanz.com/blog-cirugia-estetica/clinica-plastica/que-la-lipoabdominoplastia/>
- traumatología, B. -I. (s.f.). *Cirugía Cervical*. Obtenido de Cirugía Cervical descripción : <https://www.biziondo.com/cirug%C3%ADa-cervical#:~:text=Es%20una%20intervenci%C3%B3n%20quir%C3%B3rgica%20que,de%20la%20afectaci%C3%B3n%20discal%20compresiva.>