

**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA**  
**SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA**

**PROPUESTA DE MEJORA PARA ÁREA DE MANTENIMIENTO DE**  
**LA UNIVERSIDAD DE LOS ANDES**

Trabajo de Titulación para optar al Título  
de Ingeniero/a en MANTENIMIENTO  
INDUSTRIAL.

Alumno:

Mario Patricio Ayala Zúñiga

Profesor Guía:

Ing. Cristian Enrique Cuadra Urbina



## 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:** PROPUESTA DE MEJORA PARA ÁREA DE MANTENIMIENTO DE LA UNIVERSIDAD DE LOS ANDES

**Nombre del candidato(a):** Mario Patricio Ayala Zúñiga

**Carrera / Grado:** Ingeniería en Mantenimiento Industrial

**Campus:** Viña del Mar ; **Departamento:** Mecánica

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

Yo, Cristian Enrique Cuadra Urbina , 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.

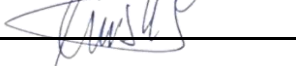
El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (embargo) por:

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:** 25-06-2025 ; **Firma:** 

**Estudiante o Candidato(a):**

**Fecha:** 24-06-2025 ; **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:** AUDITORIA DE MANTENIMIENTO, OPORTUNIDADES DE MEJORA, INDICADORES CLAVES DE RENDIMIENTO.

Este trabajo de titulación tiene como objetivo principal el realizar una propuesta de mejora para el área de mantenimiento de la Universidad de los Andes. Para esto en el capítulo uno, se describirá la metodología de mantenimiento que se realiza en la organización, se abordará acerca de todos los antecedentes generales con la finalidad de contextualizar al lector y dar paso a la inmersión de las oportunidades de mejora, a través de la auditoria de mantenimiento en específico la auditoria “Asset Management, Operational Reliability & Maintenance Survey (AMORMS)” o “Encuesta de Gestión de Activos, Confiabilidad Operacional y Mantenimiento”, en donde sus resultados serán de ayuda en el siguiente capítulo.

Posteriormente en el capítulo dos, se analizarán los resultados de la auditoria específicamente para las tres primeras fases del modelo de gestión de mantenimiento propuesto por Carlos Parra y Crespo las cuales componen el parámetro de eficacia en el modelo. Para cada una de estas fases se realizaron propuestas de mejoras, generalmente estrategias para alinear los objetivos del negocio con los objetivos del área de mantenimiento, generación de indicadores claves de rendimiento (KPI's), jerarquización de activos y la realización de un análisis causa raíz, con el propósito de mejorar todas aquellas no conformidades observables después de la auditoria de mantenimiento.

De la misma forma en el capítulo tres se dará paso a un análisis cualitativo y cuantitativo para las propuestas mencionadas en el capítulo dos. Esto se realizará a través de una evaluación técnica y económica, con el propósito de evidenciar la rentabilidad, viabilidad y el potencial de éxito de las propuestas definidas en el capítulo anterior.

Finalizando este trabajo, en la conclusión general, se expondrán aquellos pensamientos finales, los cuales apuntan a que la metodología propuesta seria sumamente útil para el área de mantenimiento de la Universidad de los Andes y no solo a esta organización, en el presente trabajo también se reconoció la importancia de que una buena gestión del mantenimiento puede ayudar a todo tipo de industrias y empresas a mejorar su calidad de trabajo.

## ÍNDICE

RESUMEN	2
ÍNDICE	3
ÍNDICE DE FIGURAS	5
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE ECUACIÓN	6
INDICE DE GRAFICOS	7
SIGLAS Y SIMBOLOGÍA	8
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVO GENERAL	2
OBJETIVO ESPECÍFICO	2
CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES Y APLICACIÓN DE AUDITORIA.	3
1. ANTECEDENTES GENERALES Y APLICACIÓN DE AUDITORIA.	4
1.1. ANTECEDENTES DE LA EMPRESA.	4
1.1.1. Misión	5
1.1.2. Visión	5
1.1.3. Organización	5
1.1.4. Ubicación de la Universidad de los Andes.	6
1.1.5. Facultades de la Universidad de los Andes	7
1.1.6. Campus UANDES	7
1.2. MANTENIMIENTO.	8
1.2.1. Área de mantenimiento de la Universidad de los Andes.	8
1.2.2. Turnos y Horarios del área de mantenimiento.	9
1.2.3. Organigrama Área de Mantenimiento Universidad de los Andes	9
1.2.4. Taxonomía de los Activos	9
1.2.5. Descripción de cargos.	10
1.2.5.1. Jefe de Mantenimiento.	10
1.2.5.2. Planificador de Mantenimiento.	11
1.2.5.3. Técnico en Mantenimiento Industrial.	11
1.2.5.4. Técnico en Climatización.	11
1.2.5.5. Técnico en Automatización y Control.	11
1.2.5.6. Técnico en Electricidad.	12
1.2.6. Software de mantenimiento computarizado.	12
1.3. MODELO DE GESTIÓN DE MANTENIMINETO.	13
1.4. AUDITORIA DE MANTENIMIENTO.	14

1.4.1.	Técnicas de auditoría de mantenimiento.	14
1.4.2.	Asset Management, Operational Reliability & Maintenance Survey (AMORMS)	14
1.4.3.	Procedimiento para Auditoria de Mantenimiento.	15
1.4.4.	Resultados de la auditoria AMORMS.	15
CAPÍTULO 2: ANÁLISIS DE AUDITORIA Y PROPUESTAS DE MEJORA		17
2.	ANÁLISIS DE AUDITORIA Y PROPUESTAS DE MEJORA.	18
2.1.	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS POR ÁREA DE LA AUDITORIA	18
2.1.1.	Resultados de la Auditoria Fase uno Gestión de Activos, Objetivos del Negocios (KPIs) y organización de soporte	18
2.1.2.	Resultados de la auditoria Fase 2 Modelos de Jerarquización basados en Riesgo (criticidad de equipos)	19
2.1.3.	Resultados de la auditoria Fase 3 Análisis de Problemas (Manejo de Fallas)	21
2.2.	ANÁLISIS DE LA ENCUESTA AL ÁREA DE MANTENIMIENTO DE LA UNIVERSIDAD DE LOS ANDES	22
2.3.	PROPUESTAS DE MEJORA	23
2.3.1.	Propuestas de Mejora para la Fase 1	23
2.3.2.	Indicadores de Rendimiento en Perspectivas.	26
2.3.2.1.	Perspectiva Financiera	26
2.3.2.2.	Perspectiva del cliente	26
2.3.2.3.	Perspectiva de Procesos Internos	27
2.3.2.4.	Perspectiva de Aprendizaje y Crecimiento	28
2.3.3.	Indicadores de Rendimiento	28
2.3.3.1	Indicadores financieros	28
2.3.3.2.	Indicadores Clientes	30
2.3.3.3.	Indicadores de Procesos Internos	30
2.3.3.4.	Indicadores de aprendizaje y crecimiento	31
2.3.4.	Estructura de la metodología Balanced Scorecard (BSC)	32
2.3.5.	Propuestas de Mejora para la Fase 2	37
2.3.5.1.	Tablas de Factores de frecuencia y consecuencia de fallos	38
2.3.5.2.	Matriz de Criticidad	40
2.3.6.	Propuestas de Mejora para la Fase 3	40
2.3.6.1.	Paso 1: Equipo natural de trabajo	41
2.3.6.2.	Paso 2: Definición y jerarquización de los problemas	42
2.3.6.3.	Paso 3: Formular hipótesis para las evidencias físicas.	44
2.3.6.4.	Paso 4: Formular causas raíz físicas, humanas y latentes para las hipótesis validadas	45

2.3.6.5.	Paso 5: Propuesta de recomendaciones o soluciones	47
2.3.6.6.	Paso 6: Evaluación de la efectividad de las Soluciones	48
2.4.	RESUMEN DE PROPUESTAS DE MEJORA	48
2.4.1	Tabla resumen de las propuestas de mejora	49
CAPÍTULO 3: EVALUACION TÉCNICA Y ECONÓMICA.		51
3.1.	EVALUACIÓN TÉCNICA.	52
3.1.1.	Formación en la Norma ISO 55000 “Gestión de Activos: descripción general, principios y terminología”.	52
3.1.2.	Indicadores del Balanced Scorecard (BSC).	54
3.1.3.	Matriz de Criticidad Cualitativa de Riesgo.	57
3.1.4.	Fechas Genéricas de mejoramiento Técnico.	57
3.2.	EVALUACIÓN ECONOMICA.	59
3.2.1.	Escenario Actual	59
3.2.2.	Escenario futuro.	61
3.2.2.1.	Escenario futuro Pesimista.	61
3.2.2.2.	Escenario futuro Optimista	62
3.2.3.	Costos de Inversión para la implementación.	62
CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES		66
BIBLIOGRAFÍA.		68

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1:	Organización Institucional UANDES	5
Figura 1-2:	Organigrama de Rectoría UANDES.	6
Figura 1-3:	Ubicación UANDES.	6
Figura 1-4:	Facultades, Escuelas e Institutos UANDES.	7
Figura 1-5:	Campus UANDES	8
Figura 1-6:	Organigrama del área de mantenimiento de la UANDES.	9
Figura 1-7:	taxonomía de los Activos ISO 14224	10
Figura 1-8:	Pantalla de Inicio del Software SVISION.	12
Figura 1-9:	Modelo de Gestión del Mantenimiento.	13
Figura 1-10:	Proceso de Auditoria.	14
Figura 2-1:	Mapa estratégico	25
Figura 2-2:	BSC Propuesto Perspectiva: Aprendizaje y Crecimiento	33
Figura 2-3:	BSC Propuesto Perspectiva Procesos Internos	34
Figura 2-4:	BSC Propuesto Perspectiva Clientes	35

Figura 2-5: BSC Propuesto Perspectiva Financiera	36
Figura 2-6: Matriz de Prioridades de Problemas	42
Figura 2-7: Árbol de Falla parte uno	44
Figura 2-8:Árbol de Falla parte dos	45
Figura 2-9: Árbol de Falla parte tres	46
Figura 2-10: Proceso de Definición de Soluciones	47
Figura 2-11: Evaluación de la Efectividad de las Soluciones	48
Figura 3-1: Calendario Año 2025	58

### **ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1-1: Datos Generales UANDES	4
Tabla 1-2: Turnos de Trabajo área de mantenimiento UANDES.	9
Tabla 1-3: Resultados Generales auditoria AMORMS.	15
Tabla 2-1: Resultados específicos fase 1 auditoria de mantenimiento AMORMS	19
Tabla 2-2: Resultados específicos fase 2 auditoria de mantenimiento AMORMS	20
Tabla 2-3: Resultados específicos fase 3 auditoria de mantenimiento AMORMS	21
Tabla 2-4: Factores de Frecuencia de Fallas matriz MCCR	38
Tabla 2-5: Factores de Consecuencia SHA matriz MCCR	38
Tabla 2-6: Factores de Costos de Mantenimiento matriz MCCR	39
Tabla 2-7: Consecuencias por baja Mantenibilidad	39
Tabla 2-8: Consecuencias en la disponibilidad educativa	39
Tabla 2-9: Matriz de Criticidad	40
Tabla 2-10: Resumen de resultados de la MCCR (22 equipos evaluados)	43
Tabla 2-11: Resumen y relación entre problemáticas y propuestas de mejoras	49
Tabla 3-1: Programa Formativo Norma ISO 55000	52
Tabla 3-2: Costos de Indisponibilidad por Fallos CIF actual	60
Tabla 3-3: CIF Total Generadores	61
Tabla 3-4: CIF Total Generadores, escenario Pesimista.	61
Tabla 3-5: CIF Total Generadores, escenario optimista	62
Tabla 3-6: Costos de Inversión	63
Tabal 3-7: Inversión y Beneficio en 5 años	64

### **ÍNDICE DE ECUACIÓN**

Ecuación 2-1: Porcentaje del Presupuesto Utilizado	26
Ecuación 2-2: Disponibilidad	26
Ecuación 2-3: Tiempo Promedio para Reparar	27
Ecuación 2-4: Tiempo Promedio entre Fallas	27
Ecuación 2-5: Índice de Capacitación	28
Ecuación 2-6: Valor Económico Agregado	29
Ecuación 2-7: Costo de Mantenimiento Correctivo sobre Costo de Mantenimiento Preventivo	29
Ecuación 2-8: Confiabilidad	30
Ecuación 2-9: Porcentaje de Cumplimiento de Mantenimiento Preventivo	30
Ecuación 2-10: Recursos Críticos pedidos a Tiempo	31
Ecuación 2-11: Estancia Promedio de Colaboradores	31
Ecuación 2-12: Tasa de Retención de Personal	32
Ecuación 2-13: Encuesta Grace Place to Work	32
Ecuación 2-14: Riesgo	38
Ecuación 3-1: Retorno de Inversión	64
Ecuación 3-2: Resultado Retorno de Inversión	65

### **INDICE DE GRAFICOS**

Gráfico 1-1: Resultados Generales Auditoria de Mantenimiento AMORMS	16
Gráfico 2-1: Resultados específicos fase 1 auditoria de mantenimiento AMORMS	19
Gráfico 2-2: Resultados específicos fase 2 auditoria de mantenimiento AMORMS	20
Gráfico 2-3: Resultados específicos fase 3 auditoria de mantenimiento AMORMS	21
Gráfico 3-1: Inversión Mensual	64

## **SIGLAS Y SIMBOLOGÍA**

### **A. SIGLAS**

A: Availability, Disponibilidad

CIF: Costos de Indisponibilidad por Fallas.

CLP: Peso Chileno

ISO: International Organization for Standardization (Organización internacional de estandarización)

MTBF: Mid Time Between Failure

MTTR: Mid Time To Repair

OSHA: Occupational Safety and Health Administration.

PAS: Publicly Available Specification

ROI: Return on Investment

RTA: Riesgo Total Anualizado.

SHA: Seguridad, Higiene y Ambiente.

TPFS: Tiempo Promedio Fuera de Servicio.

TPO: Tiempo Promedio Operativo.

### **B. SIMBOLOGÍA**

Fallos/Año: Cantidad de fallos ocurridos en un año

Horas/Fallo: Horas perdidas por un fallo.

CLP/Hora: Pesos Chilenos en una hora.

CLP/Año: Pesos Chilenos al año.

## **INTRODUCCIÓN**

Una universidad es una institución de educación superior e investigación, cuyo propósito fundamental radica en la generación, transmisión y difusión del conocimiento. Estas instituciones se distinguen por ofrecer programas académicos en diversas disciplinas, abarcando niveles de formación como licenciatura, maestría, y doctorado. Así mismo, promueve el desarrollo integral de sus estudiantes y contribuye al avance científico, cultural y económico de la sociedad. Para garantizar un entorno de educación e investigación adecuado es sumamente importante que todas las áreas de la universidad trabajen de forma alineada, es por esto por lo que el área de mantenimiento es fundamental ya que permite a las organizaciones que su infraestructura funcione de manera continua y adecuada otorgando seguridad y calidad. Siempre manteniendo el cumplimiento normativo vigente.

La Universidad de los Andes, institución dedicada a transmitir la verdad a través de la investigación y la docencia tiene su propia área de mantenimiento, sin embargo en los últimos años solo han trabajado realizando mantenimientos correctivos, lo cual representa carencias al momento de mantener un ecosistema amigable para docentes, alumnos y funcionarios. Si bien últimamente surgió la implementación de un software de mantenimiento computarizado, aun no es utilizado en su totalidad dejando varias de sus funciones principales desperdiciadas, resultando en la no obtención de datos históricos sobre sus equipos. Esto último hace imposible la medición de las diferentes tareas de mantenimiento que se realizan en la universidad.

Es por esta razón que, en el presente trabajo de título, se llevara a cabo el desarrollo de una propuesta de mejora para el área de mantenimiento de la Universidad de los Andes con el objetivo de mejorar la fase de eficacia del modelo de gestión de mantenimiento. metodología que es ampliamente utilizada en organizaciones industriales, sin embargo no es común para recintos educativos, por lo que esta propuesta representa un enfoque innovador para la Universidad de los Andes. Para llevar a cabo la propuesta en primer lugar, se describirá el contexto actual de cómo opera el área de mantenimiento, posteriormente se realizará la auditoria AMORMS con el propósito de conocer las principales falencias de la organización con respecto al mantenimiento. Finalmente se dará paso a la elaboración de propuestas de mejoras y a un análisis técnico económico para demostrar si estas propuestas representan o no una rentabilidad o mejora en la calidad del servicio de mantenimiento en la Universidad de los Andes.

**OBJETIVO GENERAL**

Proponer mejoras en el área de mantenimiento de la Universidad de los Andes, mediante auditoria, mejorando la fase de eficacia del modelo de gestión de mantenimiento.

**OBJETIVO ESPECÍFICO**

- Describir la universidad de los Andes a través de la auditoria de mantenimiento para la determinación de oportunidades de mejora.
- Proponer planes de mejora, mediante los resultados de la auditoria de mantenimiento, optimizando la eficacia del modelo de gestión de mantenimiento.
- Evaluar las propuestas planteadas, a través de un análisis técnico y económico para la generación de un plan de acción.

**CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES Y APLICACIÓN DE**  
**AUDITORIA.**

## 1. ANTECEDENTES GENERALES Y APLICACIÓN DE AUDITORIA.

De forma introductoria al capítulo 1, es sumamente importante definir claramente el contexto operacional, ya que de esta forma es posible obtener información esencial para proponer mejoras que estén enfocadas en las no conformidades que la auditoria de mantenimiento revele. A continuación, se ilustrarán los antecedentes de la institución y la aplicación de la auditoria.

### 1.1. ANTECEDENTES DE LA EMPRESA.

La Universidad de los Andes (UANDES) fue fundada en 1989 por un grupo de académicos y profesionales que, inspirados en las enseñanzas de Josemaría, fundador del Opus Dei, se atrevió a iniciar un nuevo proyecto educativo. En este ámbito la UANDES se caracteriza por formar profesionales con sólidas bases académicas, éticas y de responsabilidad social

La estructura jerárquica sigue el modelo de liderazgo académico común en las instituciones de educación superior, en donde el rector es la máxima autoridad, el cual junto a sus vicerrectores buscan cumplir la misión de la universidad, establecer políticas generales, además de tomar decisiones estratégicas acordes a los planes del desarrollo institucional.

En la actualidad la Universidad de los Andes cuenta con aproximadamente 35.000 activos (luminaria, climatización, calderas, generadores, tableros, bombas, etc.) distribuidos en sus diferentes facultades. Los cuales deben presentar un correcto funcionamiento para así cumplir con las actividades académicas, administrativas y prácticas.

*Tabla 1-1: Datos Generales UANDES*

<b>Datos Generales UANDES</b>	
<b>R.U.T.</b>	71.614.000-8
<b>E-Mail</b>	Contacto@uandesonline.cl
<b>Teléfono</b>	+569 73857985
<b>Dirección</b>	Monseñor Álvaro del Portillo 12455, Santiago, Las Condes, Región Metropolitana
<b>Sitio Web</b>	www.uandes.cl

Fuente: Elaboración Propia, en base a la información en línea.

### 1.1.1. Misión

Profundizar en el conocimiento de todos los ámbitos del saber y contribuir a la formación integral de sus estudiantes. Quiere promover el diálogo académico, el trabajo bien hecho y el afán de servicio a la sociedad. Anhela irradiar un modo de vida coherente con las enseñanzas de la Iglesia católica

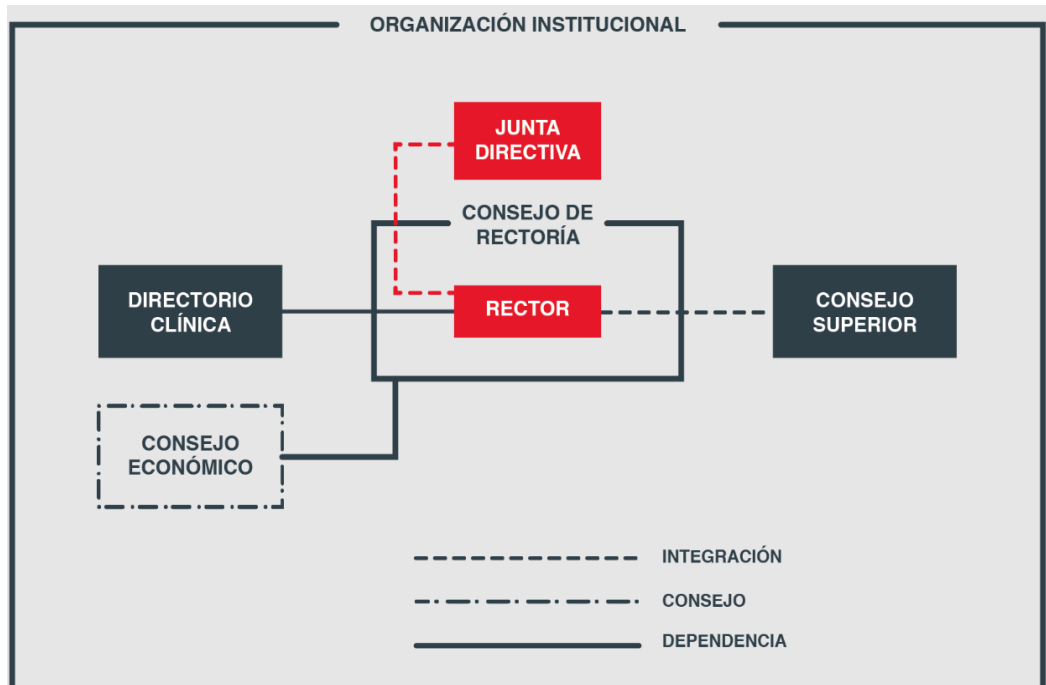
### 1.1.2. Visión

Ser un centro de excelencia, caracterizado por su apertura a los retos culturales y morales de la sociedad, y su afán de responder a ellos con soluciones innovadoras. Sus profesores, alumni y estudiantes serán actores centrales en la vinculación de la Universidad con la sociedad.

### 1.1.3. Organización

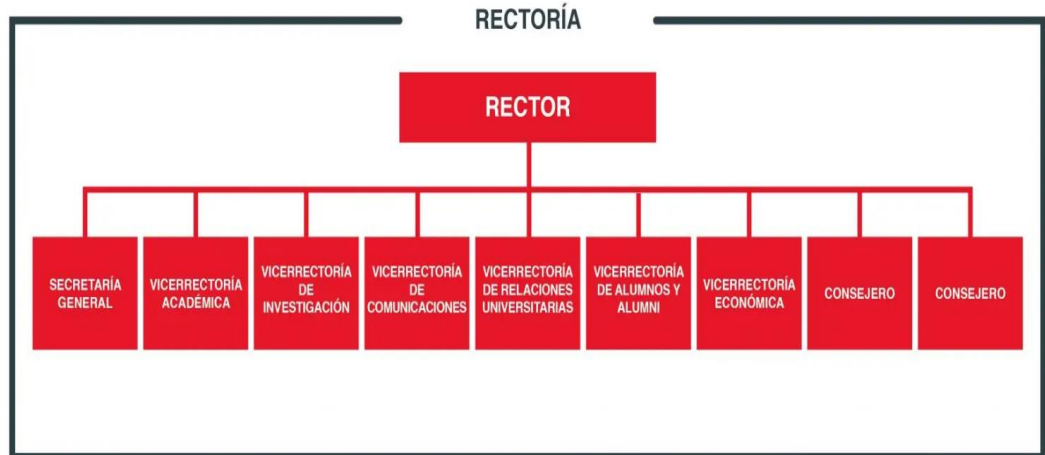
Para entender de mejor manera la estructura organizacional de la Universidad de los Andes, se dispone a continuación de los siguientes organigramas.

*Figura 1-1: Organización Institucional UANDES*



Fuente: Sitio Web UANDES.

Figura 1-2: Organigrama de Rectoría UANDES.



Fuente: Sitio Web UANDES.

Donde, actualmente:

- **Rector:** José Antonio Guzmán C.
- **Secretaria General:** Pilar Ureta L.
- **Vicerrector Académico:** José Miguel Simian S.
- **Vicerrector de Relaciones Universitarias:** Ignacio Illanes G.
- **Vicerrectora de Comunicaciones:** Cristina Errázuriz T.
- **Vicerrector de Investigación y Postgrados:** Javier Enrione C.
- **Vicerrector Económico:** Alejandro Gutiérrez G.
- **Vicerrector de Alumnos y Alumni:** Francisco Javier Lavín I.
- **Consejera:** Consuelo Cerón M.
- **Consejero:** Manuel José Vial E.

#### 1.1.4. Ubicación de la Universidad de los Andes.

La Universidad de los Andes se encuentra ubicada en Monseñor Álvaro del Portillo 12455, Santiago, Las Condes, Región Metropolitana.

Figura 1-3: Ubicación UANDES.

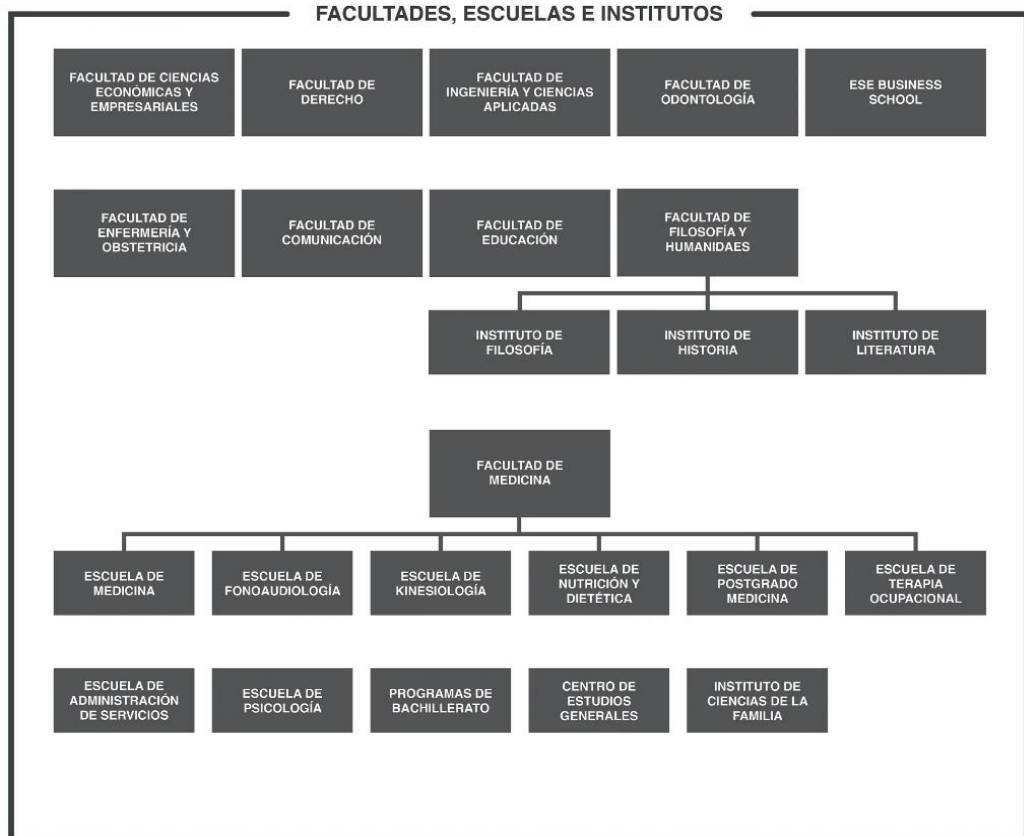


Fuente: Google Maps.

### 1.1.5. Facultades de la Universidad de los Andes

Las diferentes facultades, escuelas e institutos que ofrece esta universidad se detallan con la siguiente imagen.

*Figura 1-4: Facultades, Escuelas e Institutos UANDES.*

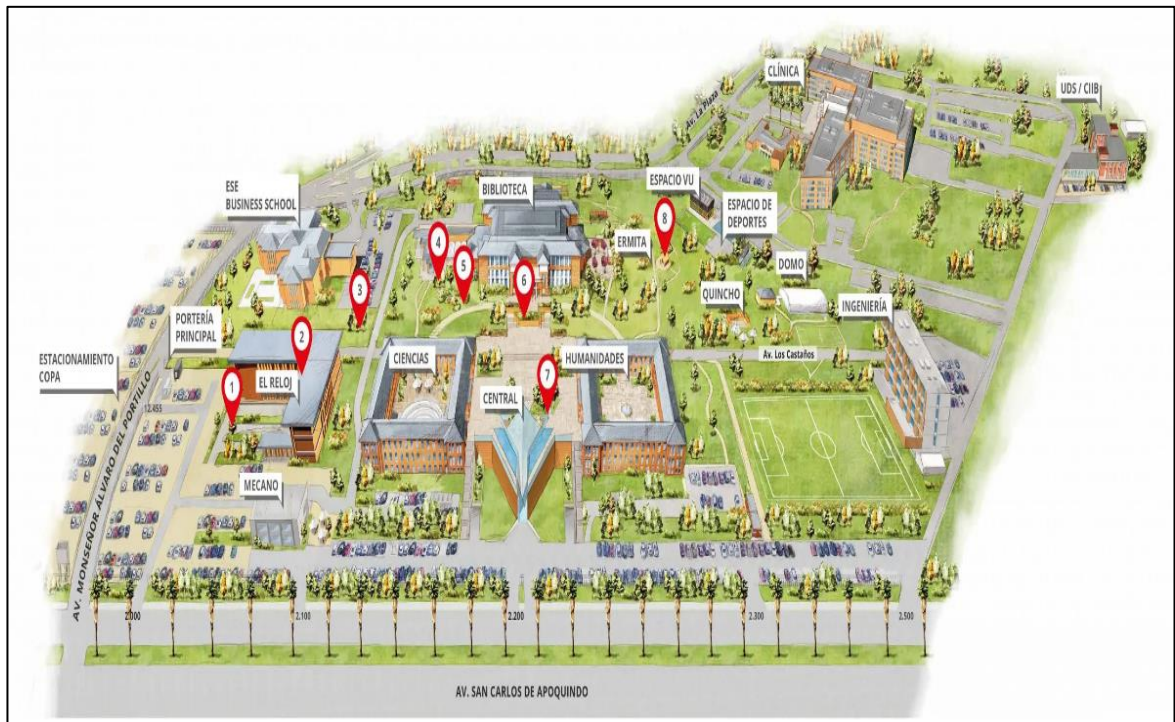


Fuente: Sitio Web UANDES.

### 1.1.6. Campus UANDES

En la siguiente imagen se detalla el campus completo de la universidad, ilustrando las diferentes áreas y puntos de interés.

Figura 1-5: Campus UANDES



Fuente: Sitio Web UANDES.

## 1.2. MANTENIMIENTO.

Actualmente el mantenimiento es de vital importancia dentro de cualquier industria, la correcta implementación de las estrategias de mantenimiento dentro del área universitaria representa un gran impacto ya que nos ayudan a mejorar en:

- Seguridad y Bienestar
- Optimización de Recursos
- Sostenibilidad
- Prevención de fallas

Todos estos factores ayudan a conseguir como resultado una calidad educativa que genere un ambiente ideal para el aprendizaje y la investigación.

### 1.2.1. Área de mantenimiento de la Universidad de los Andes.

En la siguiente sección se darán a conocer los detalles sobre el área de mantenimiento de la UANDES, abarcando desde los turnos y horarios de trabajo hasta el modelo de software de mantenimiento utilizado.

1.2.2. Turnos y Horarios del área de mantenimiento.

El horario de trabajo del área de mantenimiento de la Universidad de los Andes se presenta de la siguiente manera.

Tabla 1-2: Turnos de Trabajo área de mantenimiento UANDES.

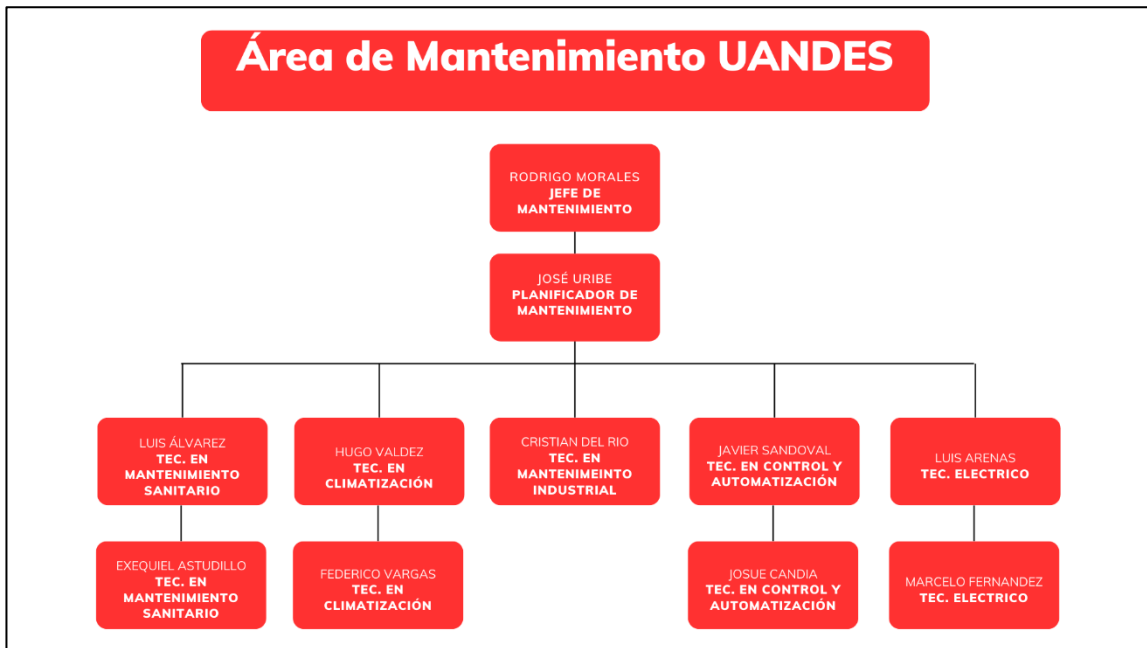
Turnos en el área de mantenimiento UANDES	
Lunes a viernes	08:30 a.m - 18:00 p.m

Fuente: Elaboración propia en base a la información entregada por la empresa.

1.2.3. Organigrama Área de Mantenimiento Universidad de los Andes

A continuación se presenta de manera grafica el organigrama del área de mantenimiento de la Universidad de los Andes.

Figura 1-6: Organigrama del área de mantenimiento de la UANDES.



Fuente: Elaboración propia en base a la información entregada por la empresa

1.2.4 Taxonomía de los Activos

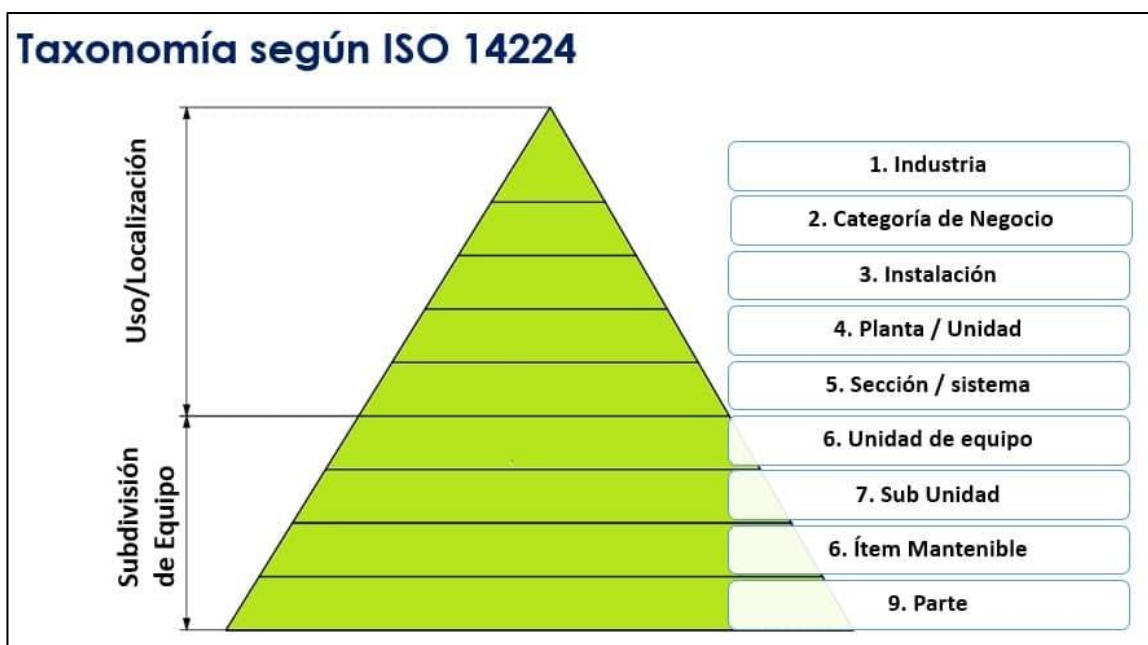
La taxonomía de los activos se refiere a una clasificación estructurada y jerárquica de los activos físicos o intangibles de una organización, las organizaciones utilizan normas internacionales para su taxonomía de activos principalmente la norma ISO-14224 la cual define la recopilación y organización de datos de confiabilidad y mantenibilidad a lo largo del ciclo de vida de los equipos dentro de la industria petrolera,

sin embargo esta norma puede ser aplicada a todo tipo de industrias. Aplicar esta taxonomía tiene una serie de ventajas tales como:

- Mejorar la gestión del mantenimiento.
- Optimizar recursos.
- Cumplimiento de las normativas.
- Generar análisis de rendimiento.

Posteriormente el análisis de criticidad presentado en el capítulo 2 se desarrolló a nivel de Unidad/Equipo (nivel 6 ISO 14224)

Figura 1-7: taxonomía de los Activos ISO 14224



Fuente: Documentación otorgada por la Universidad

#### 1.2.5. Descripción de cargos.

Actualmente el departamento de mantenimiento de la UANDES se compone de los siguientes perfiles profesionales.

##### 1.2.5.1. Jefe de Mantenimiento.

El propósito principal de este cargo es liderar y dirigir la estrategia de mantenimiento de la organización, asegurando la continuidad operativa de los equipos, mediante la implementación de políticas eficientes de mantenimiento. Dentro de sus principales responsabilidades se pueden encontrar:

- Desarrollar estrategias de mantenimiento.
- Gestión de los recursos del departamento.
- Supervisión de proyectos.
- Evaluación de desempeño.

#### 1.2.5.2. Planificador de Mantenimiento.

Responsable de programar los recursos necesarios, tales como personal, tiempo, repuestos, etc. Para la ejecución de los planes de mantenimiento de las diferentes áreas. Además, genera la información del mantenimiento planificado versus lo ejecutado, para la toma de decisiones por parte de la jefatura. Sus responsabilidades engloban lo siguiente:

- Programar el mantenimiento preventivo y correctivo.
- Planificar los recursos del personal.
- Solicitar los materiales y repuestos.
- Consolidar la información de los indicadores de mantenimiento.

#### 1.2.5.3. Técnico en Mantenimiento Industrial.

Sus funciones principales son establecer normas y procedimientos de control para garantizar el eficaz funcionamiento y la seguridad de los equipos, mecanismos, motores, bombas, dispositivos e instalaciones de nivel industrial. Organizar y dirigir el mantenimiento y las reparaciones, localizar y corregir deficiencias, entre otros.

#### 1.2.5.4. Técnico en Climatización.

Las tareas a cargo de este profesional son ejecutar tareas de mantenimiento preventivo y correctivo de acuerdo con la programación de actividad e instrucciones brindadas sobre el equipamiento de climatización u otros asignados. Realizar e informar los reportes de los desperfectos de las instalaciones y equipos para su reparación y mantenimiento.

#### 1.2.5.5. Técnico en Automatización y Control.

Controla la ejecución de los planes de mantenimiento relacionados con PLC, UPS, KNX, BMS y redes de comunicación, supervisa la calibración y verificación de los equipos bajo control metrológico, promueve la seguridad de los sistemas de control

centralizado en el campus, entrega y ejecuta el soporte técnico de los sistemas de control de accesos, entre otros.

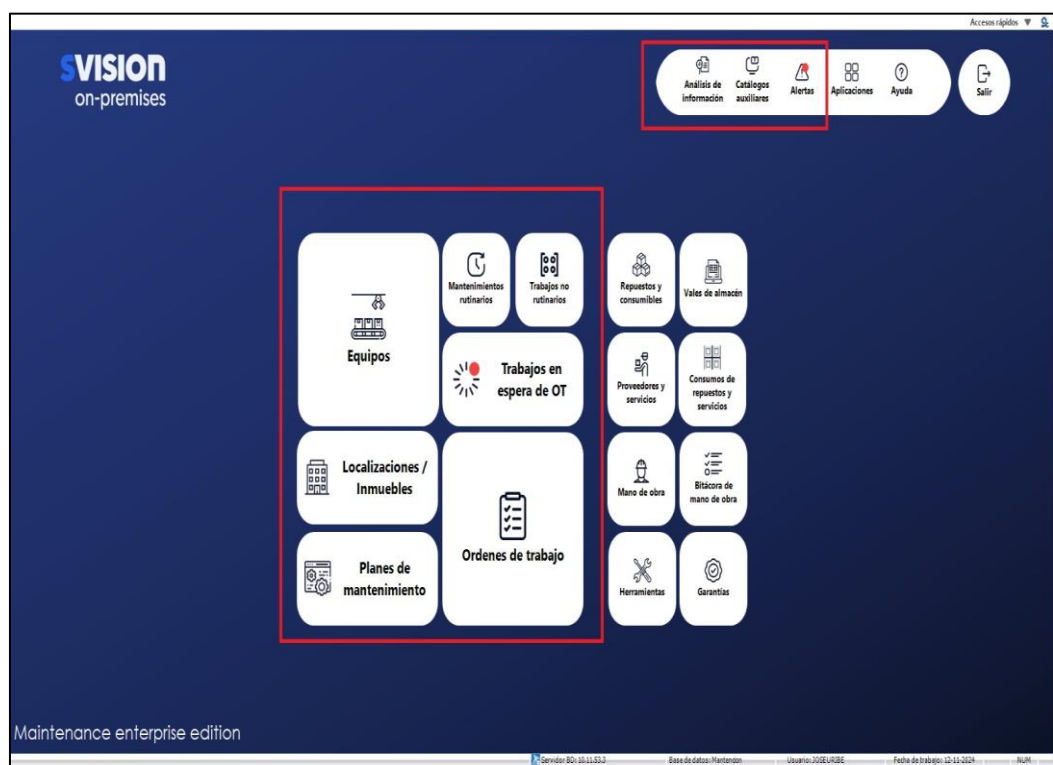
#### 1.2.5.6. Técnico en Electricidad.

Mantiene y repara los sistemas eléctricos distribuidos en el campus, asegurando el cumplimiento de las normativas vigentes, informa sobre el estado de los sistemas eléctricos y propone remplazo de los componentes. Además, está a cargo de realizar inspecciones periódicas de los sistemas identificando fallas potenciales mediante la utilización de herramientas de diagnóstico evaluando el estado de los componentes.

#### 1.2.6. Software de mantenimiento computarizado.

El software SVISION es un CMMS (Computerized Maintenance Management System) o Sistema de Gestión de Mantenimiento Computarizado, el cual es utilizado por el departamento de mantenimiento de la Universidad de los Andes para generar ordenes de trabajo, gestionar sus activos y planificar el mantenimiento, entre otras actividades. En la actualidad la organización solo trabaja con algunas funciones del software, las cuales se pueden ver a continuación.

Figura 1-8: Pantalla de Inicio del Software SVISION.



Fuente: Información otorgada por la empresa.

### 1.3. MODELO DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO.

El concepto de gestión del mantenimiento con enfoque en la gestión de activos se puede describir como la forma de preservar la función de los activos, a partir de la aplicación de estrategias efectivas de mantenimiento, inspección y control de inventarios, que permitan optimizar la eficacia de los factores de: Confiabilidad, Mantenibilidad, Disponibilidad y Riesgo operacional, ayudando a maximizar la eficiencia económica de los procesos de mantenimiento a lo largo del ciclo de vida útil de los activos industriales.

El modelo de gestión del Mantenimiento desarrollado por Parra y Crespo (Parra Márquez & Crespo Márquez, 2015) propone 8 fases las cuales se ilustran en la siguiente imagen.

Figura 1-9: Modelo de Gestión del Mantenimiento.



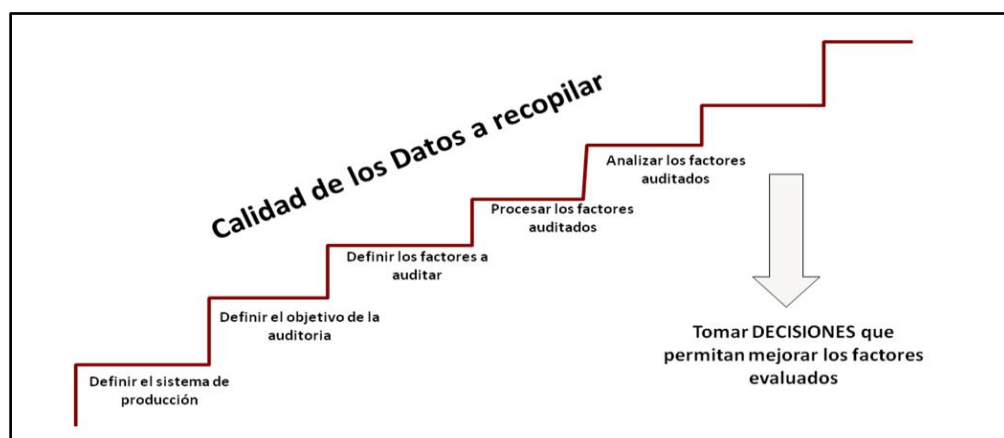
Fuente: Ingeniería de mantenimiento y fiabilidad aplicada a la gestión de activos, Parra y Crespo, 2015.

A través de sus distintas fases el modelo de gestión del mantenimiento presenta como objetivo alcanzar la mejora continua dentro de una organización. Específicamente en este proyecto se trabajará dentro de las 3 primeras fases las cuales componen la parte de eficacia dentro del modelo.

#### 1.4. AUDITORIA DE MANTENIMIENTO.

Una auditoría de mantenimiento es aquel procedimiento de la evaluación el cual permite realizar un análisis completo en cuanto a una amplia variedad de factores que, en su conjunto, constituyen la aportación del mantenimiento al sistema de producción. Por su parte este procedimiento tiene como objetivo evaluar los procesos más importantes de la gestión del mantenimiento, para lo cual debe pasar por un conjunto de etapas siguiendo un orden lógico específico. A continuación, se muestra una figura con sobre el proceso de auditoría.

Figura 1-10: Proceso de Auditoría.



Fuente: Técnicas de Auditoría aplicada a los procesos de Gestión del Mantenimiento y Confiabilidad, Carlos Parra 2021.

##### 1.4.1. Técnicas de auditoría de mantenimiento.

En la actualidad existen diferentes técnicas de auditoría para evaluar los diversos procesos de gestión del mantenimiento, como lo son: “Asset Management, Operational Reliability & Maintenance Survey (AMORMS)”; “Matriz Cualitativa de Excelencia en Mantenimiento (MCEM)”; “Maintenance Effectiveness Survey (MES)” y “Maintenance World Class Survey (MWCS)”. Sin embargo, en el presente trabajo se utilizará la primera técnica mencionada, la auditoría “**Asset Management, Operational Reliability & Maintenance Survey (AMORMS)**”, debido a que es la auditoría que está directamente relacionada con el modelo de gestión del mantenimiento utilizado para este proyecto.

##### 1.4.2. Asset Management, Operational Reliability & Maintenance Survey (AMORMS)

La auditoría “Asset Management, Operational Reliability & Maintenance Survey (AMORMS)” o por su traducción al español “Encuesta sobre gestión de activos, confiabilidad operativa y mantenimiento” es una auditoría compuesta por 150 preguntas,

las cuales serán contestadas por gerentes de mantenimiento, planificadores, técnicos, entre otros. Las personas encuestadas deberán evaluar las preguntas considerando la siguiente ponderación.

- Proceso muy deficiente (1)
- Proceso debajo del promedio (2)
- Proceso estándar promedio (3)
- Proceso con muy buenas prácticas (4)
- Proceso a nivel clase mundial (5)

#### 1.4.3. Procedimiento para Auditoria de Mantenimiento.

Para poder identificar las áreas críticas en cuanto a la gestión del mantenimiento, se utilizó la auditoria AMORMS, para esto se establecieron un total de 150 preguntas, las cuales fueron contestadas por el jefe de mantenimiento, planificador de mantenimiento y técnicos en diferentes especialidades. Las cuales dieron un total de 8 encuestados.

#### 1.4.4. Resultados de la auditoria AMORMS.

Los resultados obtenidos a través de la auditoria de mantenimiento AMORMS, se presentan en la tabla a continuación. Como puede observarse, el proceso de Gestión de Mantenimiento ejercido en la Universidad de los Andes se clasifica como “por debajo del promedio” según el modelo de gestión de mantenimiento de Parra y Crespo.

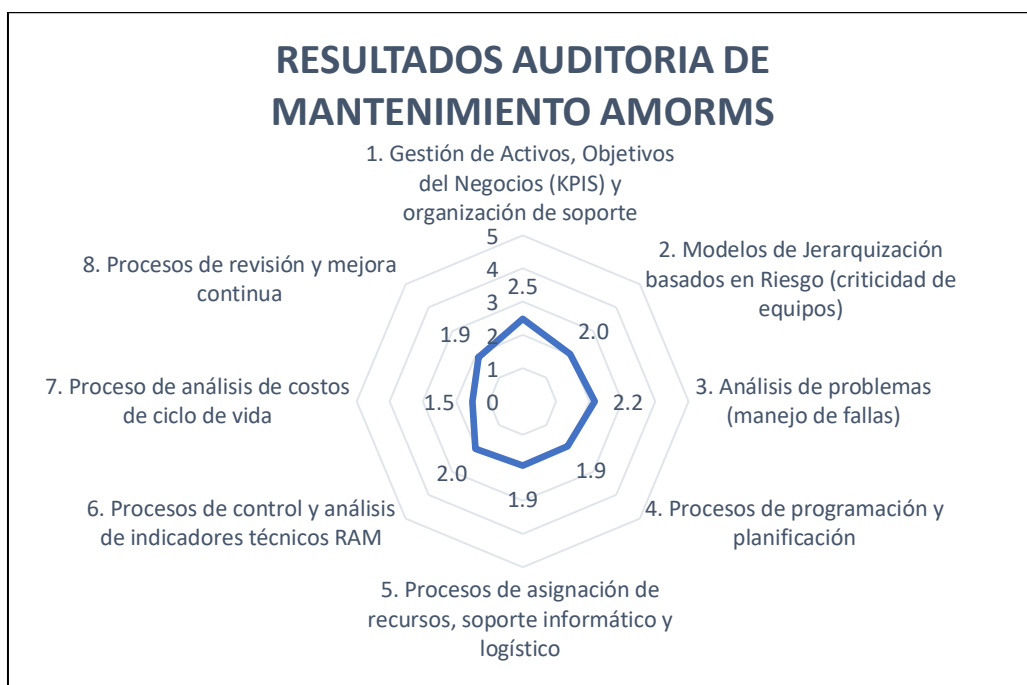
*Tabla 1-3: Resultados Generales auditoria AMORMS.*

Fases	Promedio
1. Gestión de Activos, Objetivos del Negocios (KPIS) y organización de soporte	2,5
2. Modelos de Jerarquización basados en Riesgo (criticidad de equipos)	2,0
3. Análisis de problemas (manejo de fallas)	2,2
4. Procesos de programación y planificación	1,9
5. Procesos de asignación de recursos, soporte informático y logístico	1,9
6. Procesos de control y análisis de indicadores técnicos RAM	2,0
7. Proceso de análisis de costos de ciclo de vida	1,5
8. Procesos de revisión y mejora continua	1,9

Fuente: Elaboración propia acorde a la auditoria de mantenimiento AMORMS.

Según el gráfico a continuación las áreas correspondientes a la fase de eficacia del modelo de gestión de mantenimiento “Gestión de Activos, Objetivos del Negocio (KPIS) y organización de soporte” “Modelos de Jerarquización basados en Riesgo (Criticidad de equipos)” y “Análisis de problemas (manejo de fallas)”. Poseen una ponderación “Por debajo del Promedio”.

Gráfico 1-1: Resultados Generales Auditoria de Mantenimiento AMORMS



Fuente: Elaboración propia en base a la auditoría realizada.

Para concluir este capítulo es importante remarcar el hecho de que se logró describir la universidad a través de la auditoría de mantenimiento “AMORMS”, además de esto la auditoría permitió calificar numéricamente en que niveles de satisfacción se encuentra el área de mantenimiento actualmente. Eventualmente si en el futuro se realizan más auditorías tener estos datos permiten visualizar en cuanto porcentaje la organización ha mejorado.

En el capítulo 2 se analizarán los resultados específicamente para las 3 primeras fases del modelo de gestión de mantenimiento, las cuales componen el área de eficacia. Además, de un análisis personal a cada uno de los encuestados con el propósito de mitigar las debilidades que hacen que el área de mantenimiento de la Universidad de los Andes se encuentre con un desempeño “por debajo del promedio”. Por otra parte se detallarán propuestas de mejora para las no conformidades encontradas utilizando metodologías como el Balanced Scorecard (BSC), Matrices de criticidad y análisis causa raíz.

**CAPÍTULO 2: ANÁLISIS DE AUDITORIA Y PROPUESTAS DE MEJORA**

## 2. ANÁLISIS DE AUDITORIA Y PROPUESTAS DE MEJORA.

Una vez definido el contexto operacional y de aplicar la auditoria de mantenimiento, en este capítulo 2 se ilustrarán los resultados específicos para las 3 primeras fases del modelo de gestión de mantenimiento y con respecto a esto se generarán propuestas de mejora para las fases anteriormente mencionadas.

### 2.1. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS POR ÁREA DE LA AUDITORIA

Los resultados de la auditoria en la fase de eficacia del modelo de gestión de mantenimiento se detallarán en el siguiente apartado, con el propósito de identificar los márgenes de mejora e indagar en estas brechas asociadas.

#### 2.1.1. Resultados de la Auditoria Fase uno Gestión de Activos, Objetivos del Negocios (KPIS) y organización de soporte

Es importante entender que esta primera fase se concentra en técnicas para definir la estrategia de gestión de mantenimiento, esto con el fin de que los objetivos operacionales y la estrategia no sean inconsistentes con los objetivos generales del negocio. A través de diferentes técnicas como el Cuadro de Mando Integral (The Balanced Scorecard -BCS-) el cual permite a la organización crear una serie de Indicadores Claves de Rendimiento (KPIs).

Para el Área de Mantenimiento de la Universidad de los Andes se obtuvo un valor de 2,5 (Tabla 1-3). Lo cual pondera un “Proceso bajo el promedio”.

Este valor nos indica que existen oportunidades de mejora en las políticas generales de mantenimiento, en la implementación de un plan de gestión de activos y que en el enfoque del mantenimiento no existen KPIs. Específicamente en el punto del “plan integral de gestión de activos” se puede determinar que en el área de mantenimiento de la Universidad de los Andes no existe una política estandarizada ni se tiene claridad cuando se habla de una metodología de gestión de activos.

Por otro lado, en el Control financiero (KPIs claves del negocio) se observan oportunidades de mejora, si bien el software de mantenimiento les otorga un indicador técnico (MTTR MTBF) carecen de un indicador económico que les permita evaluar el desempeño de la gestión del mantenimiento, además no se utilizan técnicas de

benchmarking lo cual sería sumamente útil al momento de compararse con otras organizaciones que desempeñen la misma función.

En las siguientes ilustraciones se pueden observar los resultados específicos de la auditoría para la fase 1.

*Tabla 2-1: Resultados específicos fase 1 auditoría de mantenimiento AMORMS*

Fase 1	Promedio
1.1 Visión General y liderazgo	2,9
1.2 Plan integral de gestión de activos	1,5
1.3 Políticas integrales de mantenimiento	2,9
1.4 Estructura organizacional	2,9
1.5 Control financiero (KPIS claves del negocio)	2,1

*Gráfico 2-1: Resultados específicos fase 1 auditoría de mantenimiento AMORMS*



Fuente: Elaboración propia en base a la auditoría realizada.

#### 2.1.2. Resultados de la auditoría Fase 2 Modelos de Jerarquización basados en Riesgo (criticidad de equipos)

En esta segunda fase del modelo de gestión de mantenimiento el enfoque recae en las técnicas cuantitativas y cualitativas para jerarquizar los activos considerando el riesgo al cual están asociados estos mismos. Permiten a las organizaciones tomar decisiones que garanticen niveles adecuados de efectividad en las operaciones de mantenimiento. Posteriormente definidas las prioridades de los activos, es preciso tener una estrategia clara de mantenimiento a cada categoría de los activos.

Los resultados obtenidos por el área de mantenimiento de la Universidad de los Andes para esta fase 2 fue de 2,0 (Tabla 1-3). Lo cual entrega un resultado de “Proceso bajo el promedio”. Los trabajadores encuestados tienen el conocimiento de que existen

activos más críticos que otros, pero es solo por experiencia personal. No existe una matriz que englobe el riesgo de los activos, por lo tanto, se presenta una oportunidad de mejora sumamente positiva para que la organización establezca una matriz de criticidad que satisfaga al contexto operacional y a las políticas de mantenimiento.

En cuanto al punto de la Gestión de los Procesos de Seguridad, Salud y Ambiente se obtuvo un puntaje demasiado bajo, lo cual indica un bajo cumplimiento o efectividad en la implementación de estos procesos, esto puede afectar a la seguridad de los trabajadores. Además, puede implicar incumplimiento en el marco legal. Considerando lo anterior se presentan oportunidades de mejora en los ámbitos del entrenamiento de los trabajadores en temas de seguridad, salud y ambiente, por otro lado, también existe la posibilidad de mejorar en la actualización de documentos y procedimientos relacionados con seguridad, salud y ambiente.

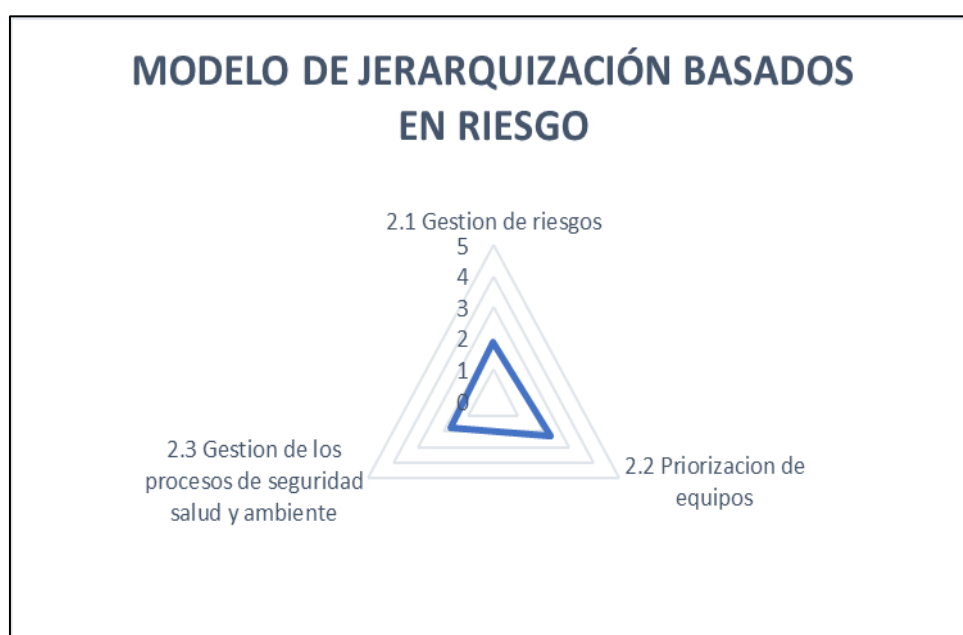
A continuación, se presentan los resultados obtenidos específicamente para esta fase 2.

*Tabla 2-2: Resultados específicos fase 2 auditoría de mantenimiento AMORMS*

Fase 2	Promedio
2.1 Gestión de riesgos	1,9
2.2 Priorización de equipos	2,3
2.3 Gestión de los procesos de seguridad salud y ambiente	1,7

Fuente: Elaboración propia en base a la auditoría realizada.

*Gráfico 2-2: Resultados específicos fase 2 auditoría de mantenimiento AMORMS*



Fuente: Elaboración propia en base a auditoría realizada

### 2.1.3. Resultados de la auditoria Fase 3 Análisis de Problemas (Manejo de Fallas)

La fase 3 del modelo de gestión de mantenimiento incluye herramientas para eliminar los puntos débiles en activos de alto impacto. Una de las metodologías más conocidas es el análisis causa raíz de fallos (Root Cause Failure, Análisis – RCFA). Este método engloba una serie de acciones que son tomadas para encontrar la razón por cual existe un modo de falla en específico y su respectiva forma de repararlo.

La organización auditada obtuvo un valor de 2,2 lo cual es “Proceso bajo el promedio” (Tabla 1-3). Los puntos más débiles en esta fase son la “Gestión de fallas” y “método de análisis de fallas”, para estos ámbitos existen brechas de mejora significativas, esta organización no cuenta con personal dedica exclusivamente a medir el impacto, y el riesgo asociado a las fallas. Además, no se utilizan metodologías de análisis de falla como el análisis causa raíz lo cual también nos presenta unas oportunidades de mejora.

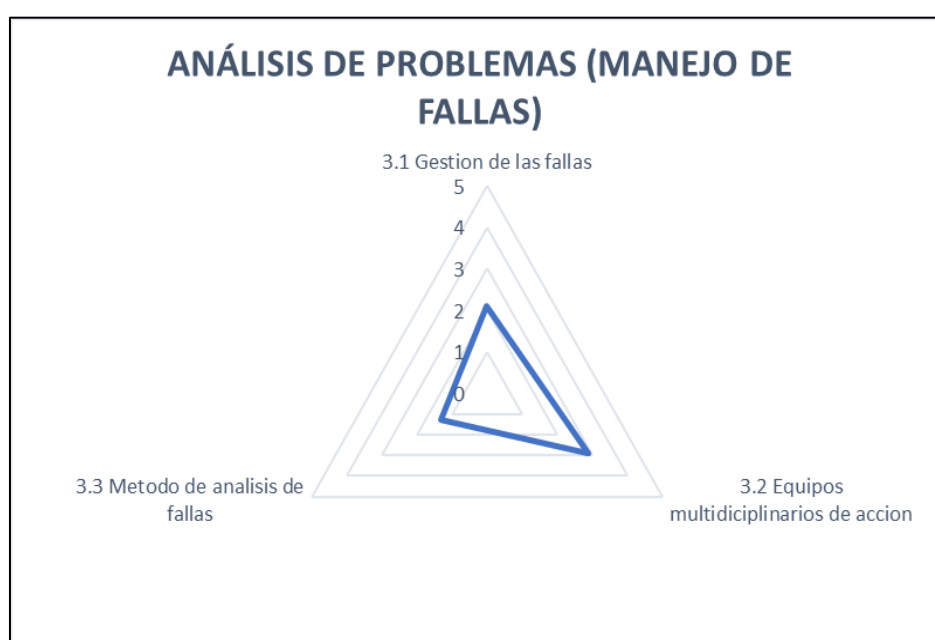
A continuación, se presenta la tabla y el gráfico asociado a la Fase 3 de la auditoria AMORMS.

*Tabla 2-3: Resultados específicos fase 3 auditoria de mantenimiento AMORMS*

Fase 3	Promedio
3.1 Gestión de las fallas	2,1
3.2 Equipos multidisciplinarios de acción	2,9
3.3 Método de análisis de fallas	1,3

Fuente: Elaboración propia en base a auditoría realizada

*Gráfico 2-3: Resultados específicos fase 3 auditoria de mantenimiento AMORMS*



Fuente: Elaboración propia en base a auditoría realizada

## 2.2. ANÁLISIS DE LA ENCUESTA AL ÁREA DE MANTENIMIENTO DE LA UNIVERSIDAD DE LOS ANDES

En este apartado se presentarán las percepciones de los trabajadores evaluados, esencialmente en las fases 1, 2 y 3 del modelo de gestión de mantenimiento.

Los trabajadores evaluados son los siguientes:

- Luis Álvarez - Técnico en Mantenimiento Sanitario.
- Exequiel Astudillo - Técnico en Mantenimiento Sanitario.
- Marcelo Fernández - Técnico en Electricidad.
- Cristian del Rio – Técnico en Mantenimiento Industrial.
- Hugo Valdez - Técnico en Climatización.
- Javier Sandoval - Técnico en Control y Automatización.
- José Uribe - Planificador de Mantenimiento.
- Rodrigo Morales – Jefe de Mantenimiento.

Falta de conocimiento general sobre la gestión de activos. “se está comenzando recién a tener una conciencia sobre la gestión de activos, hasta hace poco no se tomaba en consideración” “no hay área de confiabilidad y tampoco sabíamos que existía un modelo de gestión de mantenimiento”

Carencia de importancia hacia el mantenimiento desde la gerencia “nuestro jefe siempre está peleando por conseguir más presupuesto para nuestra área”

No existen políticas integrales de mantenimiento “desde la gerencia o incluso otras áreas no nos consideran un proceso importante, siempre faltan recursos, herramientas. El área de inventario casi nunca posee los materiales que necesitamos en mantenimiento, incluso hemos gastado de nuestro bolsillo para poder realizar reparaciones”

No se posee un modelo de criticidad estandarizado en el área “sabemos que equipos son más críticos, pero es solo por experiencia, de que este escrito o documentado bajo una norma o que se nos presentará una metodología de criticidad no existe, no trabajamos sobre una metodología estándar” “tenemos el nuevo software, pero aún no utilizamos todas sus funciones”

En cuanto al análisis de falla presentan deficiencias al momento de implementar metodologías “no, no hemos escuchado sobre la técnica de Análisis Causa Raíz” “lo único que hacemos es escribir en la orden de trabajo el tipo de mantenimiento y procedimiento que se realizó, de ahí a que los jefes tomen decisiones con respecto a eso lo desconozco”

En conclusión, la organización enfrenta una serie de desafíos sumamente importantes en su gestión del mantenimiento y activos. Evidenciando falta de madurez en sus prácticas, todas estas carencias limitan la capacidad del área de mantenimiento para operar de manera eficiente, considerando que no se aplican metodologías como el análisis causa raíz, será complicado que se logre alcanzar una mejora continua. Es importante que se aborden estas deficiencias mediante la capacitación del personal, implementando un modelo estandarizado de gestión de activos y consiguiendo un apoyo de la gerencia. Estas acciones no solo mejoraran la eficacia del área de mantenimiento, sino que también se fomentará una cultura organizacional alineada con las necesidades de la Universidad de los Andes.

### **2.3. PROPUESTAS DE MEJORA**

En la siguiente sección se presentarán las propuestas de mejora para la fase 1, 2 y 3 de la auditoría de mantenimiento AMORMS.

#### **2.3.1. Propuestas de Mejora para la Fase 1**

De forma resumida los puntos de mayor prioridad a mejorar en esta fase son “plan integral de gestión de activos” y “control financiero KPIs claves del negocio” por lo que se propone comenzar a implementar un modelo de gestión de activos básico que se fomente a partir de charlas o capacitaciones externas. Otorgando un conocimiento general sobre la importancia de una gestión de activos. La organización puede comenzar a poner en práctica las siguientes estrategias:

- Diagnóstico inicial: realizar un análisis de las brechas con el objetivo de evaluar el estado actual de la gestión de activos.
- Definir objetivos y estrategias: establecer una visión y misión que permita alinear la gestión de activos con los objetivos estratégicos de la empresa.
- Formación: Capacitar al personal clave con los principios y beneficios de la gestión de activos.
- Establecer un modelo de criticidad: Desarrollar una metodología para evaluar el riesgo, impacto financiero y criticidad de los activos, con el objetivo de priorizar los recursos según la importancia de los activos.
- Certificar y Estandarizar: Considerar la certificación ISO 55000, con el propósito de formalizar y validar la gestión de activos.

Este último punto es sumamente importante por ende se mencionarán los principales objetivos de la norma ISO 55000, con respecto al mantenimiento

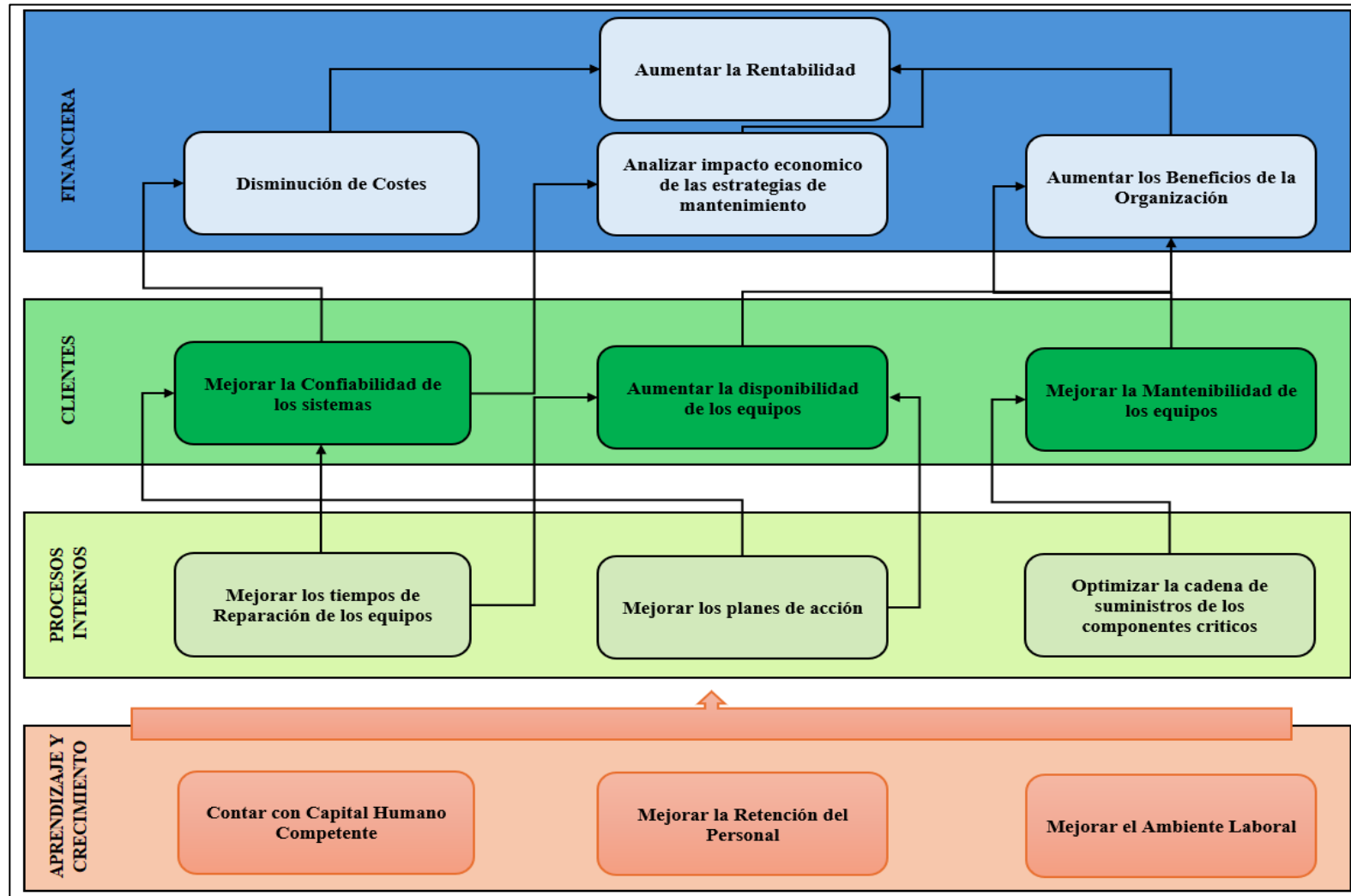
- Generar valores aceptables de tasa de falla y tiempos medios de operación (MTTF), lo cual garantice una baja probabilidad de fallas y/o minimice el impacto de las fallas en el ámbito de seguridad, higiene y ambiente.
- Mejorar la mantenibilidad de los activos, lo cual implica una rápida recuperación de estos mismos, es decir, mejorar el mantenimiento correctivo.
- Optimización de la continuidad operacional (Mejorar disponibilidad) con el propósito de maximizar el desempeño económico de los activos a lo largo de su vida útil.

Otra propuesta de mejora sumamente interesante sería la creación de un Balanced Scorecard (Cuadro de Mando Integral), ya que nos presenta una metodología que permite a las organizaciones Planear, Diseñar, Acordar, Comunicar, Ejecutar, Medir y dar seguimiento a un modelo de gestión basado en la estrategia involucrando verdadera y efectivamente a todo el personal de la empresa. El BSC nos permite alinear los objetivos del área de mantenimiento con los objetivos del negocio, esto gracias a la creación de indicadores claves de rendimiento (KPIs), el desempeño de la gestión se mida gracias al análisis de 4 perspectivas que considera el Balanced Scorecard las cuales son; Perspectiva Financiera, Perspectiva de Clientes; Perspectiva de Procesos Internos y Perspectiva de Aprendizaje y Crecimiento.

El Balanced Scorecard dentro de su metodología considera un mapa estratégico el cual es un esquema de objetivos conectados a través de relaciones de Causa-Efecto, donde se visualiza de manera sencilla la estrategia de la organización y relaciona y agrupa los objetivos a través de líneas estratégicas.

En el siguiente Mapa Estratégico se demuestra cómo se puede lograr alinear los objetivos de mantenimiento con los objetivos del negocio a nivel corporativo.

Figura 2-1: Mapa estratégico



Fuente: Elaboración propia en base a gestión de la cadena de suministro, Félix Pizarro

Para optimizar los procesos en el ámbito financiero, se propone que se establezcan los siguientes indicadores.

### 2.3.2. Indicadores de Rendimiento en Perspectivas.

Los indicadores que se presentarán estarán divididos en las diferentes perspectivas que recomienda el Balanced Scorecard.

#### 2.3.2.1. Perspectiva Financiera

El indicador a continuación es altamente recomendable debido a su fácil implementación y se utiliza para evitar sobre costos o la subutilización de recursos. El porcentaje del Presupuesto Utilizado (PPU) se calcula con la siguiente fórmula.

*Ecuación 2-1: Porcentaje del Presupuesto Utilizado*

$$PPU\% = \left( \frac{\text{Gasto Real}}{\text{Presupuesto Asignado}} \right) * 100$$

Fuente: Documentación otorgada por la Universidad

Donde:

- Gasto Real: Gasto total del área de mantenimiento en un año.
- Presupuesto Asignado: Presupuesto del área de mantenimiento en un año.

El objetivo de este indicador es monitorear el grado de ejecución presupuestaria.

#### 2.3.2.2. Perspectiva del cliente

El indicador de disponibilidad nos permite evaluar la capacidad operativa de los sistemas y representa el porcentaje del tiempo disponible del activo en un periodo determinado.

*Ecuación 2-2: Disponibilidad*

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

Fuente: Documentación otorgada por la Universidad

Donde:

- A= Disponibilidad
- MTBF= Tiempo promedio entre fallas
- MTT= Tiempo promedio para reparar

El objetivo del indicador es aumentar la disponibilidad de los equipos.

### 2.3.2.3. Perspectiva de Procesos Internos

La medición del MTTR (Tiempo Promedio para reparar), proporciona información clave sobre la rapidez y eficiencia con la que un equipo o sistema puede ser restaurado a su estado operativo después de una falla.

*Ecuación 2-3: Tiempo Promedio para Reparar*

$$MTTR = \frac{\sum TPR}{N^{\circ} FALLAS}$$

Fuente: Documentación otorgada por la Universidad

Donde:

- MTTR= Tiempo Promedio para reparar.
- TPR= Tiempo promedio de Reparación.
- N° fallas= Numero de fallas en un tiempo esperado.

El Objetivo del indicador es mejorar la mantenibilidad de los equipos.

En esta misma perspectiva se puede presentar otro indicador sumamente importante.

*Ecuación 2-4: Tiempo Promedio entre Fallas*

$$MTBF = \frac{TIEMPO TOTAL DISPONIBLE - TIEMPO INACTIVIDAD}{N^{\circ} DE FALLAS}$$

Fuente: Documentación otorgada por la Universidad

Donde:

- MTBF= Tiempo Promedio entre fallas
- Tiempo Total Disponible= Tiempo en que el equipo debería funcionar.

- Tiempo de Inactividad= Número de horas en que el equipo estuvo detenido
- N° fallas= Numero de fallas en un tiempo esperado.

Su objetivo es evaluar la confiabilidad de los equipos.

#### 2.3.2.4. Perspectiva de Aprendizaje y Crecimiento

Considerando los resultados de la auditoria de mantenimiento es preciso proponer este indicador para evaluar la preparación y desarrollo del personal con relación al tiempo real de trabajo, particularmente la capacitación debería centrarse en la norma ISO 55000 de gestión de activos.

*Ecuación 2-5: Índice de Capacitación*

$$INDICE DE CAPACITACIÓN = \frac{\sum HORAS DE CAPACITACIÓN}{\sum HORAS TRABAJADAS} * 100$$

Fuente: Documentación otorgada por la Universidad

Donde:

- Horas de capacitación: Cantidad de horas anuales utilizadas en capacitación.
- Horas trabajadas: Cantidad de horas anuales Trabajadas.

El objetivo principal de este indicador es Evaluar el desarrollo de las habilidades y competencias del personal.

#### 2.3.3. Indicadores de Rendimiento

Los indicadores que se presentaran en este apartado se recomiendan una vez que la organización obtenga datos históricos verídicos y se estandarice un plan de acción preventivo para los equipos críticos. La obtención de datos se puede estipular para ser obtenidos dentro de un año.

##### 2.3.3.1 Indicadores financieros

En este ámbito los indicadores seleccionados satisfacen la evaluación de la eficiencia financiera del mantenimiento considerando las estrategias de mantenimiento a

implementar, a causa de lo anterior se podrá medir el desempeño, facilitar la comparación y el Benchmarking y apoyar la planificación y Presupuestación.

*Ecuación 2-6: Valor Económico Agregado*

$$VEA = INGRESOS - GASTOS - COSTO CAPITAL$$

Fuente: Índices claves del mantenimiento, Parra y Crespo, 2020

Donde:

- VEA= Valor Económico Agregado.
- Ingresos= Ingreso potencial por Disponibilidad.
- Gastos= Sumatoria de costos fijos, mantenimiento preventivo y correctivo.
- Costo Capital= Es la suma de Inversiones, producción con inversiones de confiabilidad, multiplicado por Tasa de Interés.

El objetivo del indicador es relacionar la efectividad de las estrategias de mantenimiento con su impacto económico.

*Ecuación 2-7: Costo de Mantenimiento Correctivo sobre Costo de Mantenimiento Preventivo*

$$CMC/CP = \frac{COSTO DE MANT. CORRECTIVO}{COSTO DE MANT. PREVENTIVO}$$

Fuente: documentación otorgada por la universidad

Donde:

- CMC/CP= Costo de Mantenimiento Correctivo sobre el Costo de Mantenimiento Preventivo.
- Costo de Mant. Correctivo= Corresponde a todas aquellas mantenciones no previstas.
- Costo de Mant. Preventivo= Corresponde a todas aquellas mantenciones que se planificaron previamente.

El objetivo del indicador es reducir la dependencia del mantenimiento correctivo, promoviendo las estrategias preventivas.

### 2.3.3.2. Indicadores Clientes

El indicador de confiabilidad es sumamente importante dentro del área de mantenimiento, ya que nos permite medir la capacidad de un sistema para desempeñar su función en un periodo de tiempo específico.

*Ecuación 2-8: Confiabilidad*

$$\text{Confiabilidad} = e^{\left(\frac{-t}{MTBF}\right)}$$

Fuente: Documentación otorgada por la universidad

Donde:

- t: Periodo de tiempo
- MTBF: Tiempo promedio entre fallas.

El objetivo del indicador es Mejorar la confiabilidad del sistema.

### 2.3.3.3. Indicadores de Procesos Internos

Los siguientes indicadores presentados poseen la capacidad de aumentar la productividad, mejorar la calidad de la producción, generar un plan de administración de Inventarios y aumentan la eficiencia operacional, por lo que su implementación y medición es vital para la mejora del área de mantenimiento.

*Ecuación 2-9: Porcentaje de Cumplimiento de Mantenimiento Preventivo*

$$\% \text{CUMPLIMIENTO MANT. PREVENTIVO} = \frac{ODT (1)}{ODT (2)} * 100$$

Fuente: Norma UNE 15341, 2020

Donde:

- ODT (1): Ordenes de trabajo preventivo ejecutadas dentro de un periodo de tiempo.
- ODT (2): Ordenes de trabajo preventivo planificadas en un periodo de tiempo (Independiente de si se completaron o no)

El objetivo del indicador es evaluar qué tan efectivamente se realizan las actividades de mantenimiento preventivo.

*Ecuación 2-10: Recursos Críticos pedidos a Tiempo*

$$\% \text{Recursos Críticos pedidos a Tiempo} = \frac{\text{N}^\circ \text{ Recursos críticos atendidos a Tiempo}}{\text{N}^\circ \text{ total de Recursos críticos pedidos}} * 100$$

Fuente: Elaboración propia en base a las necesidades de la organización

Donde:

- N° de recursos críticos atendidos a tiempo: Hace referencia al número de pedidos realizados a los proveedores que llegan en la fecha estimada.
- N° total de recursos críticos pedidos: Hace referencia al número total de pedidos realizados a proveedores.

El objetivo del indicador es lograr agilizar la cadena de suministros de los recursos críticos.

#### 2.3.3.4. Indicadores de aprendizaje y crecimiento

Estos indicadores se caracterizan por mejorar la calidad del clima laboral de la organización, presentan un enfoque tanto cualitativo como cuantitativo en su construcción con el propósito de evaluar el desarrollo humano integral, mejoramiento continuo del sistema de calidad y el clima organizacional.

*Ecuación 2-11: Estancia Promedio de Colaboradores*

$$\text{Estancia promedio de Colaboradores} = \frac{\text{N}^\circ \text{ de Trabajadores}}{\text{Total de Trabajadores}} * 100$$

Fuente: Documentación otorgada por la universidad

Donde:

- N° de Trabajadores corresponde a los trabajadores con resultados de evaluación de desempeño sobre el 80% en el área.
- Total de Trabajadores corresponde a la cantidad total de trabajadores en el área.

El objetivo del indicador es contar con capital humano competente.

*Ecuación 2-12: Tasa de Retención de Personal*

$$\text{Tasa de Retención de personal} = \frac{(\text{Contrataciones al año} - \text{Desvinculaciones al año})}{\text{Contrataciones al año}} * 100$$

Fuente: Documentación otorgada por la universidad

Donde:

- Contrataciones al año: se refiere al número de empleados contratados en un año.
- Desvinculaciones al año: se refiere al número de empleados que han dejado la organización al año.

El objetivo del indicador es mejorar la retención del personal.

*Ecuación 2-13: Encuesta Grace Place to Work**Encuesta Grace Place to Work Satisfactoria*

Fuente: Documentación otorgada por la universidad

Este indicador se calcula a través de encuestas personales realizados por los trabajadores, posteriormente el área recursos humanos debe analizar estas encuestas, con el fin de saber el estado actual de los colaboradores.

El objetivo del indicador es mejorar la calidad de vida de los trabajadores.

#### 2.3.4. Estructura de la metodología Balanced Scorecard (BSC)

El Balanced Scorecard se divide en 4 grandes cuadros pertenecientes a las diferentes perspectivas.

- Perspectiva de Aprendizaje y Crecimiento
- Perspectiva de Procesos internos.
- Perspectiva de Clientes.
- Perspectiva Financiera

Cada una de estas perspectivas cuenta con sus respectivos indicadores mencionados con anterioridad, en donde se presenta su objetivo, nombre del indicador, formula, iniciativas estratégicas, iniciativas de calidad y los responsables.

A continuación, se presenta la elaboración de un Balanced Scorecard para el área de mantenimiento de la Universidad de los Andes.

Figura 2-2: BSC Propuesto Perspectiva: Aprendizaje y Crecimiento

CUADRO DE MANDO INTEGRAL						
PERSPECTIVA: APRENDIZAJE Y CRECIMIENTO						
OBJETIVO	INDICADOR	FÓRMULA	UNIDAD	INICIATIVAS ESTRATÉGICAS	INICIATIVAS DE CALIDAD	RESPONSABLE
Evaluar el desarrollo de las habilidades y competencias del personal	Indice de Capacitación	$INDICE DE CAPACITACIÓN = \frac{\sum HORAS DE CAPACITACIÓN}{\sum HORAS TRABAJADAS} * 100$	%	<ul style="list-style-type: none"> <li>--Establecer alianzas con instituciones educativas y de capacitación técnica.</li> <li>--Evaluar el impacto de las capacitaciones en el desempeño laboral.</li> <li>--Implementar planes de Capacitación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>--Desarrollar encuestas de satisfacción post capacitación.</li> <li>--Certificar las capacitaciones.</li> <li>--Generar un sistema de Feedback para personalizar las capacitaciones en función de las necesidades del grupo.</li> </ul>	Jefe de Mantenimiento y Área de recursos humanos.
Contar con Capital Humano Competente	Estancia promedio de Colaboradores	$Estancia\ promedio\ de\ Colaboradores = \frac{N^{\circ}\ de\ Trabajadores}{Total\ de\ Trabajadores} * 100$	%	<ul style="list-style-type: none"> <li>--Cumplir Programa de Capacitaciones</li> <li>--Realizar Evaluación de Desempeño.</li> <li>--Elaborar un plan de acción ante los resultados de la evaluación de desempeño.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>--Medir eficacia de las capacitaciones.</li> <li>--Evaluar herramientas de medición de competencia.</li> <li>--Seguimiento de planes de acción generados desde la evaluación de desempeño.</li> </ul>	Jefe de Selección y Desarrollo Personal
Mejorar la Retención del Personal	Tasa de Retención de Personal	$Tasa\ de\ Retención\ de\ personal = \frac{(Contrataciones\ al\ año - Desvinculaciones\ al\ año)}{Desvinculaciones\ al\ año} * 100$	%	<ul style="list-style-type: none"> <li>--Crear incentivos económicos y no económicos.</li> <li>--Mejorar el ambiente laboral con ecuestas o planes de acción para abordar problemáticas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>--Implementar entrevistas de salida.</li> <li>--Garantizar condiciones de trabajo seguras.</li> <li>--Realizar revisiones salariales periódicas, ajustándose al mercado laboral.</li> </ul>	Gerente Gestión Humana
Mejorar Calidad de Vida de los Trabajadores	Grace Palce to Worl	Encuesta Grace Place to Work Satisfactoria	Nº %	<ul style="list-style-type: none"> <li>--Realizar Foro de Bienestar.</li> <li>--Realizar encuesta Grace Place to Work.</li> <li>--Fortalecer el área de bienestar.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>--Colaborar en el proceso de realización de encuesta.</li> <li>--Inducción de personal.</li> <li>--Seguimiento de acciones tomadas en el foro de Bienestar.</li> </ul>	Gerente Gestión Humana

Fuente: Elaboración propia en base a las necesidades de la organización

Figura 2-3: BSC Propuesto Perspectiva Procesos Internos

CUADRO DE MANDO INTEGRAL						
PERSPECTIVA: PROCESOS INTERNOS						
OBJETIVO	INDICADOR	FÓRMULA	UNIDAD	INICIATIVAS ESTRATÉGICAS	INICIATIVAS DE CALIDAD	RESPONSABLE
Mejorar la Mantenibilidad de los Equipos	MTTR	$MTTR = \sum \frac{TPR}{N^{\circ} FALLAS}$	%	<ul style="list-style-type: none"> <li>–Implementar un sistema de mantenimiento predictivo, para reducir el tiempo de reparación.</li> <li>–Generar un procedimiento estandar de reparación.</li> <li>–Establecer un inventario eficiente de repuestos y herramientas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>–Crear protocolos estandarizados de reparación para los equipos con mas fallas.</li> <li>–Realizar análisis post reparación, identificar mejoras.</li> </ul>	Jefe de Mantenimiento y Encargado de Inventarios
Evaluar Confiabilidad de los Equipos	MTBF	$MTBF = \frac{TIEMPO TOTAL DISPONIBLE - TIEMPO INACTIVIDAD}{N^{\circ} DE FALLAS}$	%	<ul style="list-style-type: none"> <li>–Diseñar un FMECA.</li> <li>–Incrementar la frecuencia y calidad de las inspecciones preventivas.</li> <li>–Implementar tecnologías de monitoreo de condiciones.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>–Realizar RCA (Análisis causa raíz)</li> <li>–Documentar históricamente la frecuencia de falla de los equipos.</li> </ul>	Jefe de Mantenimiento y Planificador de mantenimiento
Evaluar efectividad de las actividades preventivas	Cumplimiento de Mant. Preventivo	$\% CUMPLIMIENTO MANT. PREVENTIVO = \frac{ODT (1)}{ODT (2)} * 100$	%	<ul style="list-style-type: none"> <li>–Crear calendario detallado del mantenimiento preventivo en el software de mantenimiento.</li> <li>–Asignar recursos y tiempo para completar las tareas programadas.</li> <li>–Realizar reuniones periodicas para evaluar cumplimiento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>–Realizar auditorias de los mantenimientos realizados.</li> <li>–Capacitar al personal sobre la importancia del mantenimiento preventivo.</li> </ul>	Jefe de Mantenimiento y Planificador de mantenimiento
Agilizar la cadena de suministro de los recursos críticos	Recursos Críticos pedidos a Tiempo	$\% Recursos Críticos pedidos a Tiempo = \frac{N^{\circ} Recursos críticos atendidos a Tiempo}{N^{\circ} total de Recursos críticos pedidos} * 100$	%	<ul style="list-style-type: none"> <li>–Establecer sistema automatizado de gestión de inventario, con alertas de reabastecimiento.</li> <li>–Gestionar entregas bajo la metodología "just in time".</li> <li>–Crear análisis ABC para jerarquizar recursos críticos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>–Optimizar los procesos internos de solicitud y aprobación de recursos.</li> <li>–Evaluar a los proveedores.</li> <li>–Auditar los tiempos de entrega y cumplimiento de los proveedores.</li> </ul>	Encargado de Compras y Jefe de mantenimiento

Fuente: Elaboración propia en base a las necesidades de la organización

Figura 2-4: BSC Propuesto Perspectiva Clientes

CUADRO DE MANDO INTEGRAL						
PERSPECTIVA: CLIENTES						
OBJETIVO	INDICADOR	FÓRMULA	UNIDAD	INICIATIVAS ESTRATÉGICAS	INICIATIVAS DE CALIDAD	RESPONSABLE
Aumentar la Disponibilidad de los equipos	Disponibilidad	$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$	%	<ul style="list-style-type: none"> <li>--Implementar un programa de mantenimiento preventivo.</li> <li>--Utilizar Software de Mantenimiento Computarizado para monitorear tiempos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>--Estandarizar Procedimientos de mantenimiento.</li> <li>--Realizar auditoria periodicas sobre los datos de disponibilidad, para identificar brechas de mejora.</li> </ul>	Jefe de Mantenimiento
Mejorar la confiabilidad del Sistema	Confiabilidad	$Confiabilidad = e^{\left(\frac{-t}{MTBF}\right)}$	%	<ul style="list-style-type: none"> <li>--Implementar FMECA.</li> <li>--Introducir metodologias de monitoreo de condiciones.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>--Realizar análisis de las fallas historicas para determinar causas de las falas.</li> <li>--Documentar lecciones aprendidas luego de las intervenciones.</li> <li>--Realizar inspecciones periodicas, para verificar los cumplimientos técnicos.</li> </ul>	Jefe de Mantenimiento y Planificador de Mantenimiento

Fuente: Elaboración propia en base a las necesidades de la organización

Figura 2-5: BSC Propuesto Perspectiva Financiera

CUADRO DE MANDO INTEGRAL						
PERSPECTIVA: FINANCIERA						
OBJETIVO	INDICADOR	FÓRMULA	UNIDAD	INICIATIVAS ESTRATÉGICAS	INICIATIVAS DE CALIDAD	RESPONSABLE
Monitorear el Grado de Ejecución Presupuestaria	Porcentaje del Presupuesto Utilizado	$PPU\% = \left( \frac{\text{Gasto Real}}{\text{Presupuesto Asignado}} \right) * 100$	%	--Implementar herramientas de gestión de costos para monitorear el uso del presupuesto en tiempo real. --Ajustar el gasto de las prioridades críticas. Generar mantenimiento basado en riesgo.	--Realizar auditorías, con el fin de alinear los objetivos financieros con los objetivos de mantenimiento. --Aplicar controles de calidad sobre materiales, para minimizar gastos innecesarios.	Jefe de Mantenimiento y Jefe de Finanzas
Relacionar Efectividad de las Estrategias de Mantenimiento con su Impacto Económico	Valor Económico Agregado	$VEA = \text{INGRESOS} - \text{GASTOS} - \text{COSTO CAPITAL}$	\$ AÑO	--Desarrollar proyectos de mejora continua. --Implementar mantenimiento Predictivo.	--Medir y analizar el impacto del mantenimiento en la productividad global. --Capacitación del personal en técnicas avanzadas de mantenimiento.	Jefe de Mantenimiento y Jefe de Operaciones
Promover Estrategias de Mantenimiento Preventivas	Costo de Mantenimiento Correctivo vs Costo de Mantenimiento Preventivo	$CMC/CP = \frac{\text{COSTO DE MANT. CORRECTIVO}}{\text{COSTO DE MANT. PREVENTIVO}}$	-	--Implementar planes de mantenimiento preventivo. --Jerarquizar los equipos críticos, para enfocar recursos en estos mismos.	--Auditar las órdenes de trabajo, identificando desviaciones. --Implementar indicadores de seguimiento a las tareas de mantenimiento.	Planificador de mantenimiento

Fuente: Elaboración propia en base a las necesidades de la organización

### 2.3.5. Propuestas de Mejora para la Fase 2

Una vez ya realizado la metodología Balanced Scorecard con sus respectivos indicadores, formulas, responsables y se diseñara una estrategia de mantenimiento alineada con los objetivos del negocio. Una metodología para medir la criticidad de los activos es sumamente importante.

El proceso Básico de Análisis de Criticidad basada en el Modelo Semicuantitativo de Riesgo QRM (Qualitative Risk Matrix), es una metodología que permite jerarquizar; procesos, sistemas, instalaciones, equipos, etc., en función del factor de riesgo. Las principales fortalezas de implementar estas estrategias son las siguientes:

- Técnica sencilla y de muy fácil aplicación.
- Ayuda a estandarizar los escenarios de priorización de sistemas/procesos.
- Introduce y difunde el concepto de Riesgo.
- No requiere prácticamente recursos adicionales (costos), solo tiempo y dedicación.

A pesar de todas estas ventajas el modelo en su contra parte posee ciertas debilidades:

- Es un método de cualitativo que genera un alto nivel de incertidumbre.
- Depende de la información disponible de la organización.
- Al ser una técnica cualitativa, no hay una valoración real de la frecuencia y de la consecuencia de los fallos.

Al comparar sus fortalezas y debilidades el Modelo Semicuantitativo de Riesgo es sumamente recomendable, ya que su implementación es bastante sencilla. Para el diseño de una Matriz Cualitativa de Riesgo un equipo multidisciplinario debe seguir los siguientes pasos:

- Definir el objetivo principal del proceso de jerarquización.
- Identificar los criterios de evaluación.
- Asignar el peso de importancia de cada criterio.
- Diseñar el procedimiento de aplicación.
- Validar el procedimiento con el resto de la organización.

En este apartado se dará una muestra resumida de la matriz de criticidad cualitativa de riesgo.

*Ecuación 2-14: Riesgo*

$$\text{Riesgo} = \text{Frecuencia} * \text{Consecuencia}$$

Fuente: Documentación otorgada por la universidad

Donde:

- Frecuencia = N° de fallos en un tiempo determinado.
- Consecuencia = (Mayor valor entre Consecuencias SHA, Costos de Mantenimiento, Consecuencias por Baja Mantenibilidad, Consecuencias Disponibilidad Educativa)

#### 2.3.5.1. Tablas de Factores de frecuencia y consecuencia de fallos

Las siguientes tablas fueron realizadas gracias a la experiencia del personal del área de Mantenimiento de la Universidad de los Andes. Bajo el criterio de estas frecuencias y escalas se desarrolla una Matriz de criticidad.

*Tabla 2-4: Factores de Frecuencia de Fallas matriz MCCR*

Frecuencia de Fallas	Escala
Excelente	1) Menos de 2 evento al año
Bueno	2) Entre 2 y 3 eventos al año
Promedio	3) Entre 3 y 4 eventos al año
Pobre	4) Entre 4 y 5 evento al año
Muy pobre	5) Mas de 5 eventos al año

Fuente: Elaboración Propia, en base a la información otorgada por la empresa

*Tabla 2-5: Factores de Consecuencia SHA matriz MCCR*

Consecuencias (SHA)	Escala
No genera ningún impacto a la seguridad y ambiente	1
Evento Genera alarma potencial en seguridad y/o incidente ambiental sin repercusión sobre la normativa vigente	2
Evento genera daños menores a la integridad física y/o afectación al ambiente controlable	3
Evento Genera lesión incapacitante y/o afectación sensible al ambiente	4
Evento catastrófico genera muerto y/o alto impacto ambiental	5

Fuente: Fuente: Elaboración Propia, en base a la información otorgada por la empresa

Tabla 2-6: Factores de Costos de Mantenimiento matriz MCCR

Costo de Mantenimiento (CLP \$)	Escala
Costos Inferiores a 1.000.000 CLP\$	1
Costos Entre 1.000.000 y 3.000.000 CLP\$	2
Costos Entre 3.000.000 y 5.000.000 CLP\$	3
Costos Entre 5.000.000 y 7.000.000 CLP\$	4
Costos Superiores a 7.000.000 CLP\$	5

Fuente: Elaboración Propia, en base a la información otorgada por la empresa

Tabla 2-7: Consecuencias por baja Mantenibilidad

Consecuencias por baja Mantenibilidad	Escala
Existe un excelente stock de reserva. Evento genera tiempos fuera de control en las tareas de mantenimiento mínimos	1
Existe un buen stock de reserva. Evento genera tiempos fuera de control en las tareas de mantenimiento bajos	2
Existe un stock de reserva moderado. Evento genera tiempos fuera de control en las tareas de mantenimiento prolongados	3
Existe escaso stock de reserva. Evento genera tiempos fuera de control en las tareas de mantenimiento altos	4
No existe stock de reserva. Evento genera tiempos fuera de control en las tareas de mantenimiento críticos	5

Fuente: Elaboración Propia, en base a la información otorgada por la empresa

Tabla 2-8: Consecuencias en la disponibilidad educativa

Consecuencias en la disponibilidad educativa	Escala
Evento no afecta en la operatividad de los servicios educativos	1
Evento afecta una pequeña parte de las actividades, sin interrupciones graves	2
Evento afecta actividades claves, pero se gestionan sin interrupciones críticas	3
Evento afecta significativamente el desarrollo de clases o actividades académicas importantes	4
Evento afecta de manera crítica las actividades académicas o administrativas	5

Fuente: Elaboración Propia, en base a la información otorgada por la empresa

### 2.3.5.2. Matriz de Criticidad

Al aplicar la ecuación de riesgo (2-14) la matriz de criticidad queda representada en una tabla la cual cuenta con las frecuencias en el eje vertical y con las consecuencias en el eje horizontal. Esta matriz cuenta con cuatro niveles de criticidad las cuales se son:

- B: Baja Criticidad
- M: Media Criticidad
- A: Alta Criticidad
- MA: Muy Alta Criticidad

Tabla 2-9: Matriz de Criticidad

<b>FRECUENCIAS</b>	<b>5</b>	A	A	MA	MA	MA
	<b>4</b>	M	M	A	A	MA
	<b>3</b>	M	M	M	A	MA
	<b>2</b>	B	B	B	M	A
	<b>1</b>	B	B	B	M	A
		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
		<b>CONCECUENCIAS</b>				

Fuente: Elaboración Propia, en base a “Métodos de criticidad y jerarquización de activos”, Carlos Parra

Finalmente para asegurar un buen funcionamiento de la matriz, el área de mantenimiento en su totalidad deberá respaldar este modelo, de esta manera se pueden implementar mejoras en la gestión del mantenimiento y la información puede controlarse a través del software de mantenimiento de la organización SVISION.

### 2.3.6. Propuestas de Mejora para la Fase 3

Para realizar mejoras en la fase de del modelo de gestión de mantenimiento se deben analizar las posibles fallas de los equipos críticos obtenidos en el paso anterior. Estas fallas por lo general poseen una frecuencia de falla sumamente elevada. Conseguir implementar una solución y lograr mitigar las fallas podría significar una mejora en la gestión de activos y en el impacto de los costos del mantenimiento. El número de técnicas y estrategias para el análisis de fallas es variado, para este caso en particular se recomienda la metodología RCA (Root Cause-Analysis) o por su traducción al español Análisis Causa Raíz. Este método nos permite de forma sistemática, identificar las causas raíz primarias

de los problemas, para luego aplicar correctivos (soluciones) que las eliminen de forma definitiva. Las causas raíz se pueden clasificar 3 diferentes tipos:

- Causa Raíz física: Aquellos que envuelven materiales u objetos tangibles.
- Causa Raíz Humana: Aquellas que generan fallos debido a una intervención inapropiada de un ser humano.
- Causa Raíz latente: La falta o deficiencia en los sistemas gerenciales y administrativos (reglas, procedimientos, guías, etc.) o “normas culturales” que permiten que un fallo ocurra.

Se destaca la importancia de la causa raíz latente, es por eso por lo que los esfuerzos al momento de trabajar con esta metodología caerán sobre estas causas.

Esta metodología del análisis causa raíz posee un procedimiento de aplicación, el cual es necesario cumplir si se desea una buena implementación de esta metodología, a continuación se presenta el paso a paso del análisis causa raíz.

#### 2.3.6.1. Paso 1: Equipo natural de trabajo

La conformación básica de un equipo natural de trabajo para un ACR es la siguiente:

- Operador: Expertos en el manejo y operabilidad de sistemas y equipos.
- Mantenedor: Expertos en reparación y mantenimiento de sistemas y equipos.
- Programador: Visión Sistemática.
- Especialistas: Expertos en áreas específicas.
- Ingeniero de procesos: Visión global de procesos.
- Facilitador: Asesor metodológico.

Posteriormente se deben enlistar los problemas o eventos y ubicarlos en una matriz de prioridades, la cual se presenta a continuación.

Figura 2-6: Matriz de Prioridades de Problemas



Fuente: "Técnicas de Análisis Causa Raíz", Carlos Parra

### 2.3.6.2. Paso 2: Definición y jerarquización de los problemas

El proceso de definición de problemas debe incluir las siguientes preguntas:

- ¿Qué?: ¿Qué ocurrió y qué síntomas previos se detectaron (contexto operacional)?
- ¿Cuándo?: ¿Cuándo ocurrió?
- ¿Dónde?: ¿Dónde ocurrió?
- Frecuencia: N° de fallos / unidad de tiempo (años)
- Impacto: ¿Cuál es la importancia del problema? (seguridad, ambiental, producción, mantenimiento, frecuencia)

Posteriormente para la jerarquización de los problemas existen una serie de pasos generales los cuales ayudan con este proceso.

- Inventario de todos los problemas o síntomas.
- Separar los problemas que no estén relacionados.
- Agrupar los problemas que estén relacionados.
- Listar y priorizar los problemas en base a costo y pérdidas de oportunidad.
- Definir los problemas y nominar el equipo que lo analizará.

- Presentación al equipo guía alcance, responsable y fecha de término del proyecto.
- Establecer el contexto operacional específico del problema a evaluar.

En la siguiente tabla se muestran los resultados del estudio realizado en la universidad, donde se evaluó la criticidad de 22 equipos el valor máximo que se puede obtener es de 20 puntos (adimensionales) repartidos en 4 posibles niveles de jerarquización (baja criticidad, media criticidad, alta criticidad y muy alta criticidad).

Tabla 2-10: Resumen de resultados de la MCCR (22 equipos evaluados)

Equipo	Código	FRECUENCIA FALLAS	Consecuencias SHA	Costos de Man (CM)	Consecuencias baja Mant (CBM)	Consecuencias en la disponibilidad educativa (CDE)	CONSECUENCIAS	TOTAL	JERARQUIZACIÓN
Generador	GE-01-CE	5	2	5	3	3	5	25	Muy Alta Criticidad
Generador	GE-01-CIB	4	2	5	2	3	5	20	Muy Alta Criticidad
Transformador	TR-01-CE	4	3	5	4	3	5	20	Muy Alta Criticidad
Generador	GE-01-BIBL	4	3	5	3	4	5	20	Muy Alta Criticidad
Generador	GE-01-C&H	4	2	5	3	2	5	20	Muy Alta Criticidad
Transformador	TR-01-BIBL	4	3	4	2	3	4	16	Alta Criticidad
Transformador	TR-01-RE	4	3	4	3	3	4	16	Alta Criticidad
Caldera	CA-01-EA	4	3	4	3	3	4	16	Alta Criticidad
Caldera	CA-01-ING	4	3	2	4	3	4	16	Alta Criticidad
Transformador	TR-01-C&H	4	3	3	4	3	4	16	Alta Criticidad
Chiller	CH-01-BIBL	3	3	3	3	2	3	9	Media Criticidad
Transformador	TR-01-CIB	3	2	2	3	3	3	9	Media Criticidad
Generador	GE-01-ING	3	2	3	3	2	3	9	Media Criticidad
Transformador	TR-01-ING	3	2	3	3	2	3	9	Media Criticidad
Caldera	CA-01-RE	3	2	2	3	2	3	9	Media Criticidad
Chiller	CH-01-RE	3	2	3	3	2	3	9	Media Criticidad
Caldera	CA-01-CI	3	2	3	3	3	3	9	Media Criticidad
Generador	GE-01-RE	4	2	2	2	1	2	8	Media Criticidad
Celda de Maniobras	CM-01-CIB	2	2	2	2	3	3	6	Baja Criticidad
Celda de Maniobras	CM-01-ING	2	2	2	3	3	3	6	Baja Criticidad
Celda de Maniobras	CE-01-C&H	2	2	2	3	1	3	6	Baja Criticidad
Ablandador de agua	AB-01-EA	2	2	2	1	2	2	4	Baja Criticidad

Fuente: Elaboración Propia, en base a “Métodos de criticidad y jerarquización de activos”, Carlos Parra

De los 22 equipos evaluados la distribución de jerarquización obtiene los siguientes porcentajes

- 5 equipos en la zona “Muy Alta Criticidad” 23%
- 5 equipos en la zona “Alta Criticidad” 23%
- 8 equipos en la zona “Media Criticidad” 36%
- 4 equipos en la zona “Baja Criticidad” 18%

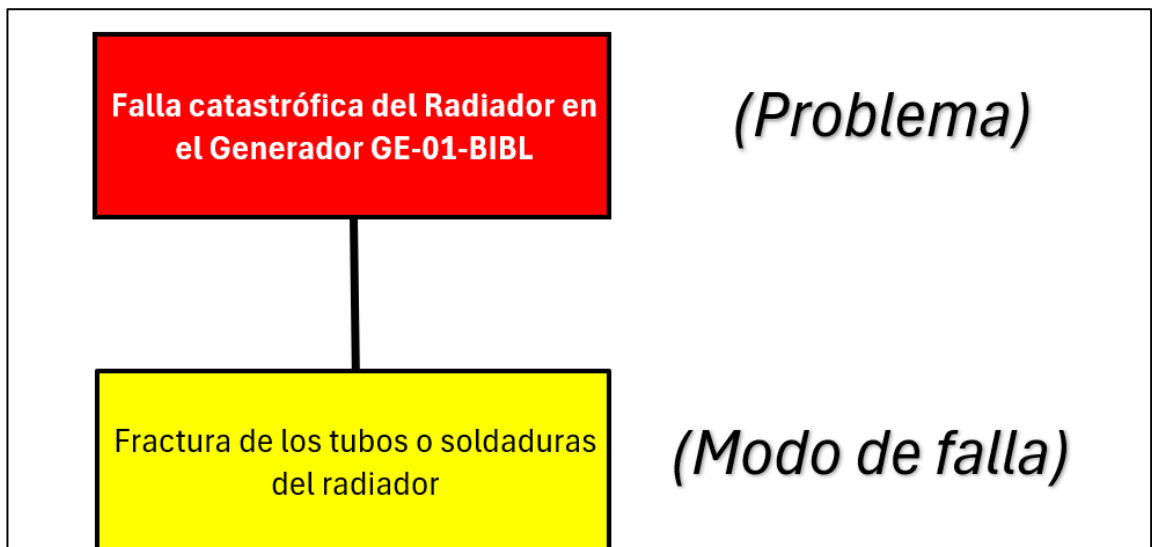
Para la elaboración de códigos, en primer lugar se tomaron las iniciales del equipo, luego el número del equipo y finalmente la abreviación de la zona en la cual el equipo se desempeña. En este caso el equipo TR-01-BIBL corresponde al transformador número 1 de la zona “Biblioteca”

Las zonas de la Universidad de los Andes se explican a continuación.

- Biblioteca: BIBL.
- Centro de Investigación e Innovación Biomédica: CIIB.
- Reloj: RE.
- Central: CE.
- Espacio Andino: EA.
- Ingeniería: ING
- Ciencias y Humanidades: C&H.
- Ciencias: CI.

Para finalizar este paso se utiliza el análisis de criticidad visto en la propuesta de mejora para la fase 2. A continuación, se presenta a modo de ejemplo la construcción de un árbol de fallas para un equipo crítico de la Universidad de los Andes, en concreto el equipo GE-01-BIBL el cual corresponde al Generador ubicado en el edificio “Biblioteca” de la universidad, sin embargo en las buenas prácticas es recomendable trabajar no solo sobre los equipos de muy alta criticidad, sino que también en las otras jerarquizaciones para evitar que estos equipos sean posibles problemas en el futuro.

Figura 2-7: Árbol de Falla parte uno



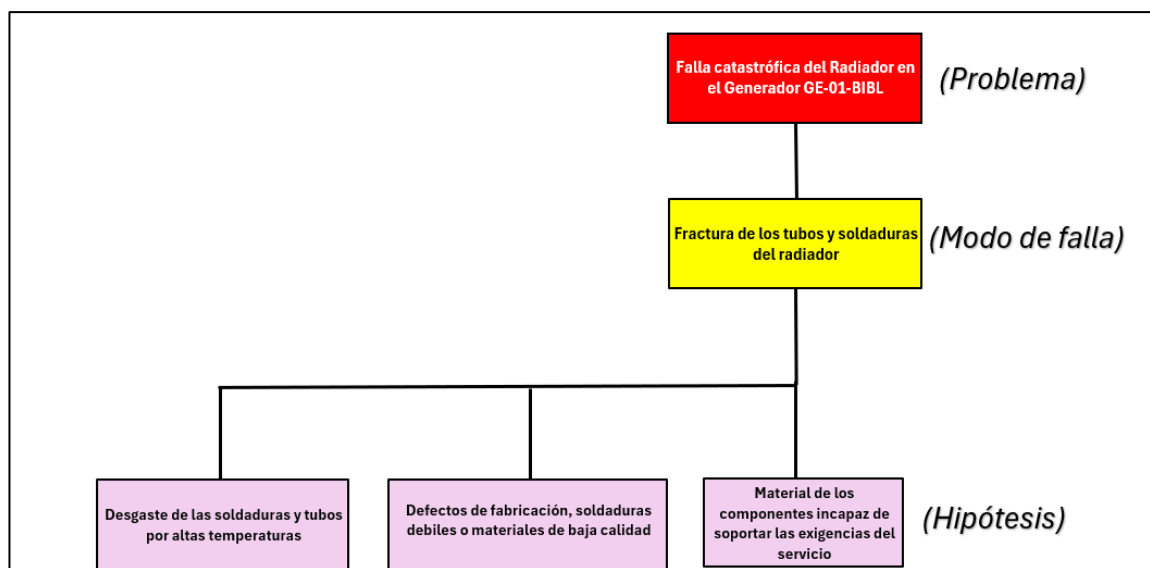
Fuente: Elaboración propia en base a “Técnicas de Análisis Causa Raíz”, Carlos Parra

### 2.3.6.3. Paso 3: Formular hipótesis para las evidencias físicas.

En este apartado se deben determinar las evidencias físicas, se recomienda considerar la siguiente información:

- Observar directamente
- Tener un promedio de tres opiniones/fuentes/personas respetadas en el tema.
- Recolectar información de una fuente de datos.
- Procedimientos de mantenimiento.
- Procedimientos de operaciones.

Figura 2-8:Árbol de Falla parte dos



Fuente: Elaboración propia en base a "Técnicas de Análisis Causa Raíz", Carlos Parra

#### 2.3.6.4. Paso 4: Formular causas raíz físicas, humanas y latentes para las hipótesis validadas

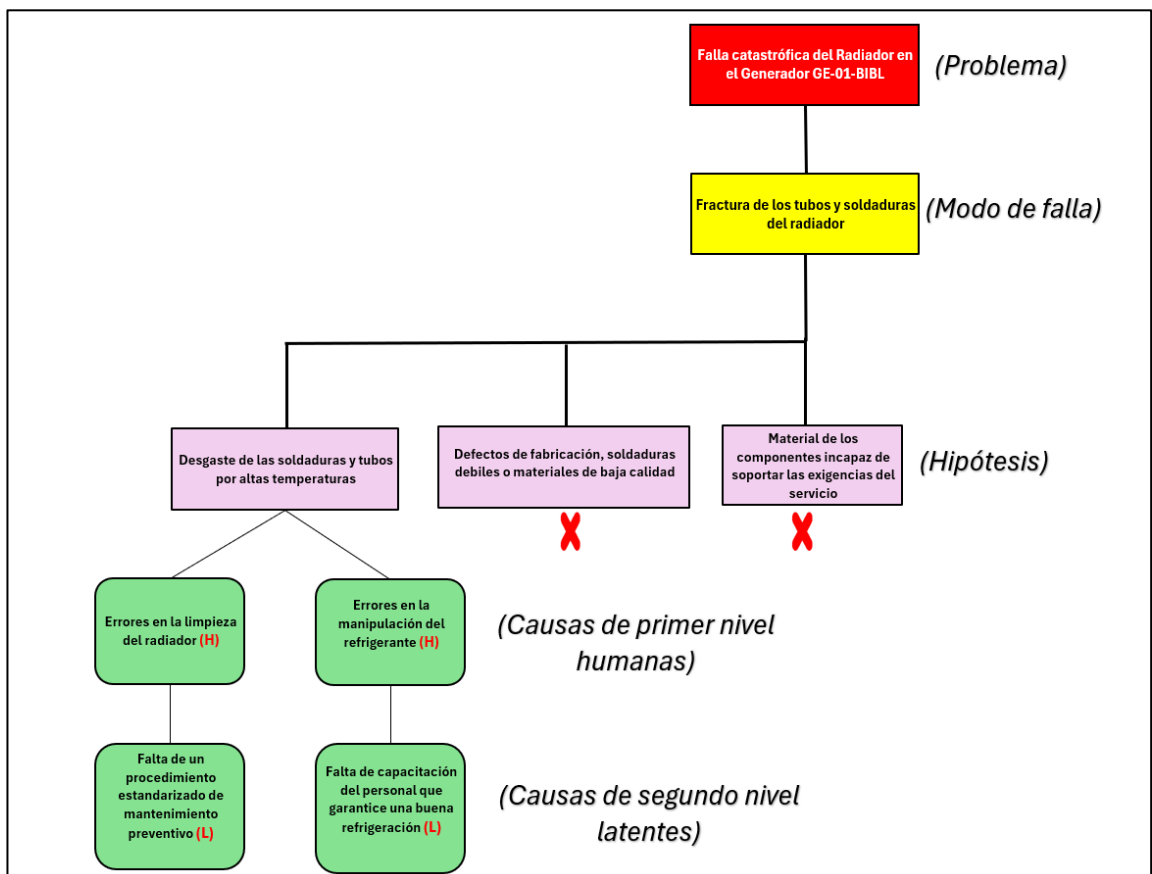
En este ámbito es necesario contar con información técnica confiable, algunos ejemplos pueden ser:

- Capturar las variables de operación (información del sistema, temperatura, presión, flujo, etc.)
- Historiales de mantenimiento.
- Libros diarios de los eventos en cada turno.
- Resultados de inspecciones.
- Información de compras.
- Datos y modificaciones de los diseños.
- Registros de entrenamiento del personal.

Además, es importante considerar que para la validación de hipótesis es necesario entrevistar a las personas adecuadas por ejemplo:

- Observadores.
- Trabajadores calificados en mantenimiento.
- Operadores.
- Técnicos en electricidad e instrumentación.
- Ingenieros y técnicos.
- Vendedores y proveedores.
- Fabricantes de partes y equipo original.
- Departamentos con procesos similares.
- Personal de seguridad.
- Personal de calidad.
- Expertos externos.

Figura 2-9: Árbol de Falla parte tres

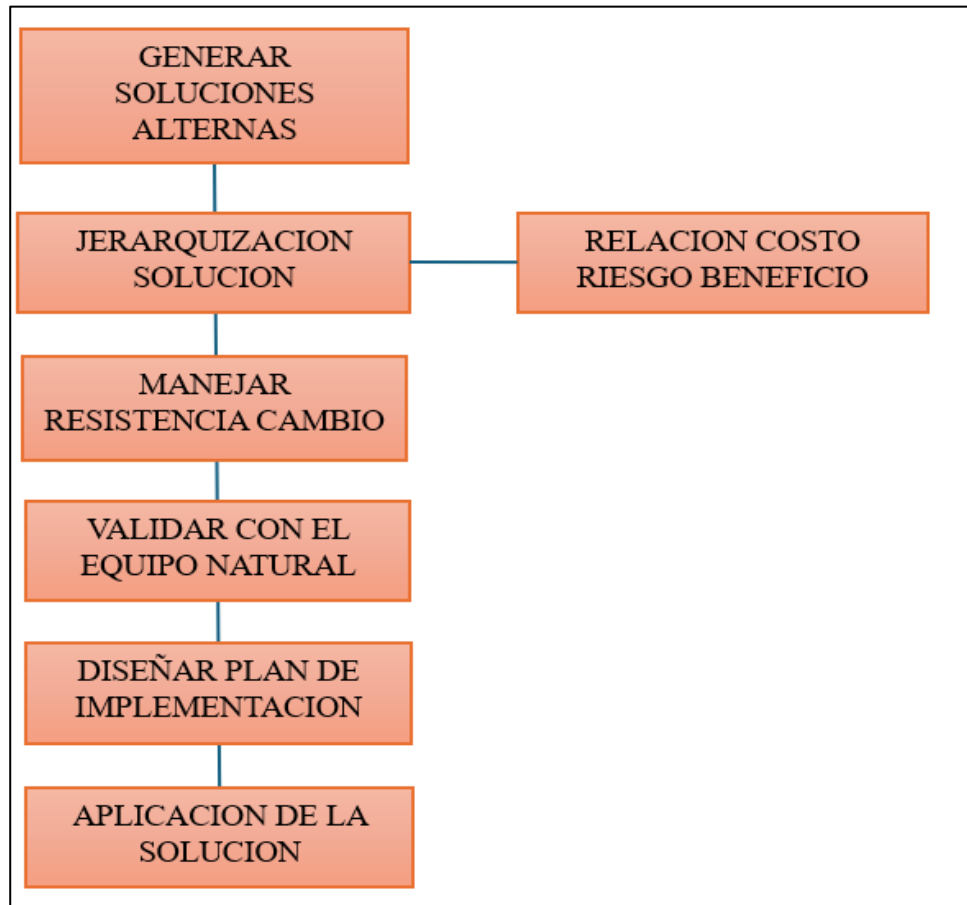


Fuente: Elaboración propia en base a “Técnicas de Análisis Causa Raíz”, Carlos Parra

### 2.3.6.5. Paso 5: Propuesta de recomendaciones o soluciones

El proceso de la definición de soluciones se puede resumir en la siguiente ilustración.

Figura 2-10: Proceso de Definición de Soluciones



Fuente: "Técnicas de Análisis Causa Raíz", Carlos Parra

Es importante que las soluciones que se deseen implementar satisfagan los siguientes criterios:

- Prevenir la recurrencia (prevenir o mitigar el problema, prevenir problemas similares)
- No crear problemas adicionales o situaciones inaceptables.
- Controlar.
- Satisfacer las metas y objetivos del negocio, grupo.
- Las soluciones deben sustentarse en un análisis técnico económico.

Las recomendaciones deben estar relacionadas con las causas raíz latentes para este ejemplo las soluciones son las siguientes:

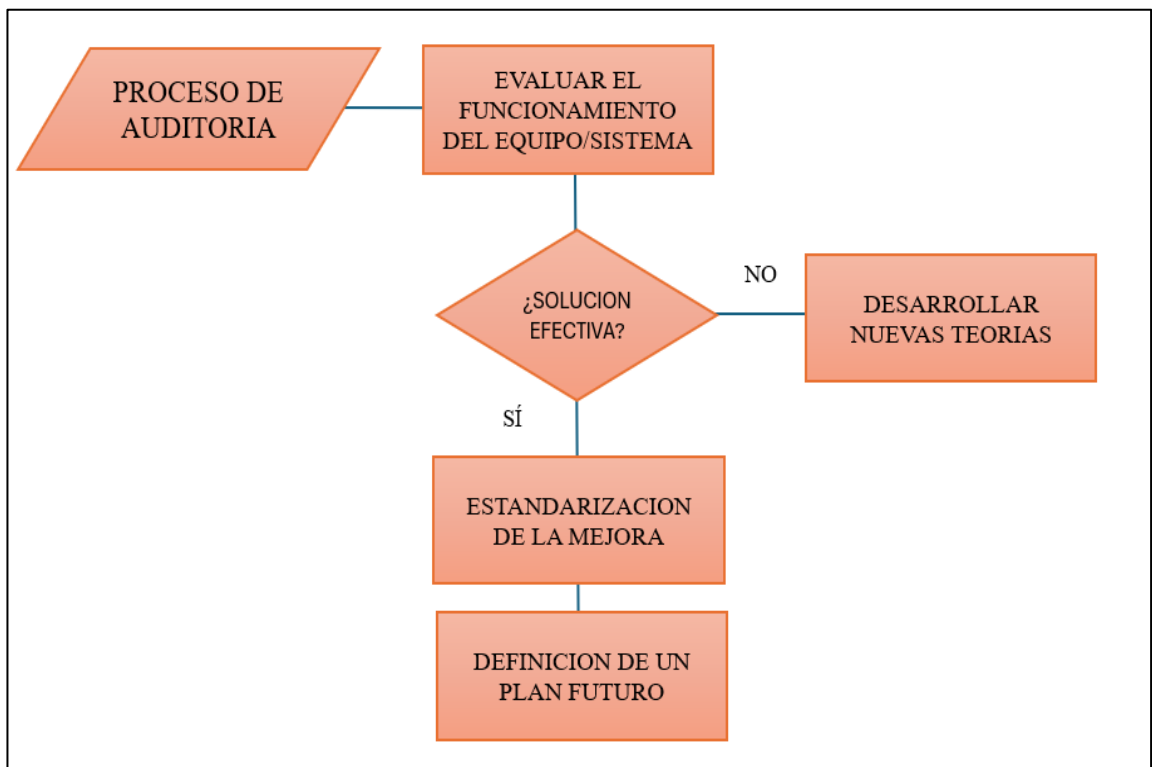
- Generar un procedimiento de mantenimiento preventivo a los generadores, el cual este estandarizado.

- Capacitación o evaluación del rendimiento del personal de mantenimiento.

#### 2.3.6.6. Paso 6: Evaluación de la efectividad de las Soluciones

El proceso de la evaluación de efectividad de las soluciones se puede resumir en la siguiente ilustración.

*Figura 2-11: Evaluación de la Efectividad de las Soluciones*



Fuente: “Técnicas de Análisis Causa Raíz, Carlos Parra

La forma en la que se puede verificar si el proceso de RCA está cumpliendo con su objetivo es evaluar los resultados a partir de los indicadores de, Disponibilidad (A), Confiabilidad (TPO), Mantenibilidad (TPFS) e indicadores económicos, (CIF O RTA) (Ingeniería en Confiabilidad 1, Carlos Parra 2024).

## 2.4. RESUMEN DE PROPUESTAS DE MEJORA

En este apartado se realizará una síntesis que relacione las propuestas establecidas para cada no conformidad presentada en la auditoría de mantenimiento AMORMS.

### 2.4.1 Tabla resumen de las propuestas de mejora

En la tabla a continuación se resumen las propuestas de mejora en relación con las problemáticas presentadas en la auditoría de mantenimiento, con el objetivo de facilitar la lectura y de sintetizar el capítulo.

*Tabla 2-11: Resumen y relación entre problemáticas y propuestas de mejoras*

<b>Problemática</b>	<b>Propuesta de mejora</b>	<b>Responsable o Encargado</b>
Inexistencia de un plan integral de gestión de activos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Implementar un modelo de gestión de activos básico.</li> <li>• Definir objetivos y estrategias.</li> <li>• Capacitación al personal clave.</li> <li>• Establecer modelo de criticidad.</li> <li>• Certificar y estandarizar en Norma ISO 55000.</li> <li>• Utilización total del Software SVISION.</li> </ul>	Jefe de Mantenimiento
Poco control financiero e inexistencia de KPIs claves del negocio.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Creación de un Balanced Scorecard (Cuadro de Mando Integral)</li> <li>• Generación de Mapa Estratégico.</li> <li>• Generación de Indicadores Claves de Rendimiento.</li> </ul>	Jefe de Mantenimiento y Planificador de Mantenimiento
Carencias en técnicas de jerarquización de activos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Generación de un modelo básico de Análisis de Criticidad basada en el Modelo Semicuantitativo de Riesgo.</li> <li>• Explorar diferentes metodologías por ejemplo: Jack Knife.</li> <li>• Generar una matriz de criticidad.</li> </ul>	Ingeniero de Mantenimiento
Falta de utilización de metodologías para la eliminación de puntos débiles en equipos de alto impacto.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Implementar la metodología RCA.</li> <li>• Realizar mediciones de impacto en las fallas de los equipos críticos.</li> <li>• Contar con un equipo multidisciplinario</li> </ul>	Jefe de mantenimiento y Planificador de Mantenimiento

Fuente: Elaboración propia en base a la Auditoría de Mantenimiento AMORMS

En conclusión, en el presente capítulo se han propuesto mejoras fundamentadas en las no conformidades detectadas a través de la auditoría de mantenimiento, cumpliendo así con el objetivo establecido. Asimismo, tal como se evidenció en la tabla de criticidad de los activos, la organización posee cinco activos clasificados con “Alta Criticidad”. Se espera que, una vez implementadas las medidas propuestas en este capítulo, se logre mitigar la cantidad de equipos que presenten niveles elevados de criticidad.

En el siguiente capítulo se realizará una evaluación técnica y económica sobre las propuestas establecidas anteriormente, en cuanto a la parte técnica se presentará un modelo de formación en la norma ISO 55000 y además se explicará en que consisten los indicadores presentados en el Balanced Scorecard, de la misma forma para la parte económica a grandes rasgos se verificará si las propuestas presentadas tendrán un beneficio para la empresa.

**CAPÍTULO 3: EVALUACION TÉCNICA Y ECONÓMICA.**

### 3. **EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA.**

En este último capítulo se realizarán evaluaciones en el ámbito técnico y económico. De esta forma se puede demostrar la rentabilidad, factibilidad y de cierta manera representar el potencial éxito que las propuestas establecidas en el capítulo 2 pueden ofrecer al área de mantenimiento de la Universidad de los Andes.

#### 3.1. **EVALUACIÓN TÉCNICA.**

Para comenzar la evaluación técnica se analizarán y detallarán todas las propuestas presentadas en el capítulo 2 correspondientes al ámbito cualitativo, se ilustrará un programa en la formación de la norma ISO 55000, también se indagará en los indicadores técnicos del Balanced Scorecard, la importancia de estos y como implementarlos dentro de la cultura de la organización.

##### 3.1.1. **Formación en la Norma ISO 55000 “Gestión de Activos: descripción general, principios y terminología”.**

El proceso de formación en la Norma ISO 55000 tiene como objetivo la optimización en la gestión de activos de la empresa durante todo el ciclo de vida de estos, adoptando una cultura organizacional enfocada en la mejora continua, en donde se priorice el aumento en indicadores como; confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad lo cual ayudará a garantizar la rentabilidad de la organización.

Es recomendable que esta capacitación este enfocada en el jefe del área de mantenimiento y sus planificadores. Y así estos deben entregar la información al personal restante dentro del área, con el fin de disminuir la frecuencia de fallas y por consiguiente logrando una reducción de costos.

*Tabla 3-1: Programa Formativo Norma ISO 55000*

<b>Formación Norma ISO 55000 (Gestión de activos: descripción general, principios y terminología)</b>	
Metodología	Aprendizaje en formato virtual con un facilitador online en tiempo real para enseñanza teórica. Duración 20 horas.

Objetivo general	Capacitar al personal clave de la organización en los principios y requisitos de la norma ISO 55000, facilitando la implementación de un sistema de gestión de activos que optimice el desempeño organizacional.
Objetivos específicos	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Comprender los fundamentos sobre la gestión de activos y su relación con los objetivos del negocio.</li> <li>2. Desarrollar habilidades para la implementación práctica de un sistema de gestión de activos.</li> <li>3. Entender la relación entre la gestión de activos, gestión de riesgo y la gestión del ciclo de vida de los activos.</li> <li>4. Preparar a la organización, estableciendo las bases para cumplir con los requisitos necesarios para la certificación.</li> <li>5. Demostrar cómo responder a requisitos regulatorios específicos utilizando casos reales.</li> </ol>
Programa	<p><b>1. Estableciendo las bases de la gestión de activos.</b></p> <p>Comprendiendo qué es la gestión de activos.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Antecedentes de la gestión de activos.</li> <li>• Conceptos básicos.</li> <li>• Definición y tipos de activos.</li> <li>• Gestión del ciclo de vida total.</li> <li>• ¿Quién es el gerente de un activo?</li> <li>• Diferencias entre la gestión de activos y la gestión de mantenimiento.</li> </ul> <p>Logrando sistemas integrados.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Como integrar sistemas independientes: mantenimiento, compras, ingeniería, etc.</li> </ul> <p>Requerimientos del negocio.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gestión del ciclo de vida desde la concepción hasta el fin de vida.</li> <li>• Gestión del riesgo.</li> <li>• Gestión de la información.</li> <li>• Las funciones de soporte/apoyo</li> <li>• El Outsourcing y la gestión de activos.</li> <li>• La estructura organizacional para la gestión de activos.</li> <li>• La función del gerente de activos.</li> </ul> <p><b>2. Conociendo los Estándares de Asset Management.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Orígenes e historia de la Norma PAS 55.</li> <li>• La Norma ISO 55000.</li> <li>• Innovaciones de ISO 55000.</li> <li>• Relaciones ISO 55000 y PAS 55.</li> <li>• La transición de PAS 55 a ISO 55000.</li> <li>• Interrelaciones de ISO 55000 con otros estándares (ISO, OSHA, etc.).</li> </ul> <p><b>3. Entendiendo la norma de Gestión de Activos ISO 55000.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ISO 55000 Asset management – resumen, principios y terminología.</li> <li>• ISO 55001 Asset management – requisitos.</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ISO 55002 Asset management – guías de implementación de ISO 55001.</li> <li>• Casos estudio de experiencias de TWPL en los 5 continentes.</li> </ul> <p><b>4. Requisitos regulatorios de Gestión de Activos.</b></p> <p><b>5. Implementando la Gestión de Activos.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La evaluación inicial.</li> <li>• El caso de negocio.</li> <li>• El plan maestro u hoja de ruta de implementación.</li> <li>• La implementación y seguimiento del plan.</li> <li>• El manejo cultural.</li> <li>• La auditoría y certificación.</li> </ul>
--	---

Fuente: Elaboración propia en base a la información de CIDES corpotraining

### 3.1.2. Indicadores del Balanced Scorecard (BSC).

De forma cualitativa es sumamente importante explicar en qué consisten los indicadores presentados con anterioridad en el capítulo dos y el análisis correspondiente de estos mismos. De forma que el área de mantenimiento de la Universidad de los Andes pueda entender de qué manera se llevan a cabo y así obtener una maximización en dichos indicadores.

$$PPU\% = \left( \frac{\text{Gasto Real}}{\text{Presupuesto Asignado}} \right) * 100$$

El objetivo principal de este indicador financiero es evaluar el presupuesto asignado en relación con los gastos realizados en el área de mantenimiento. Una de sus más importantes funciones es vincular a la alta gerencia de la organización con la gestión de mantenimiento. Los objetivos y metas iniciales que se deben establecer con la gerencia deben ser realistas, alcanzables y deben estar alineados con la estrategia de la empresa. Además, se debe lograr que el porcentaje del presupuesto utilizado sea equilibrado y que su avance sea proporcional a medida que avanza el periodo establecido.

La comunicación afectiva y continua con la gerencia es sumamente importante al momento de implementar este indicador de esta manera se pueden realizar ajustes en

base a las necesidades del área de mantenimiento. Por otra parte este indicador debe ser medido constantemente para así evitar incertidumbre en las primeras etapas del proyecto.

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

Este indicador debe ser implementado con el objetivo de aumentar la disponibilidad de los equipos optimizando la eficiencia operativa y garantizar un funcionamiento constante de los activos (Ingeniería en Confiabilidad 1, Carlos Parra 2024). El enfoque estratégico se centra en la reducción de los tiempos de inactividad no planificados generando una disponibilidad para la comunidad educativa continua. La capacitación en el entendimiento de la fórmula y sus componentes es de vital importancia y debe destacar como la mejora de este indicador impacta directamente en la disponibilidad de los equipos.

En el comienzo las metas no deben ser tan optimistas, en contra parte es mejor establecer estándares de disponibilidad deseables para incentivar una mejora continua, mientras que el monitoreo de este indicador debe mostrar que la implementación del indicador no genere inconvenientes operativos. Los ajustes al indicador y la adaptabilidad que se le dé a este es esencial, aceptando que el aumento de la disponibilidad debe ser un objetivo a largo plazo. El control sobre este indicador se debe monitorear constantemente para medir el desempleo en el tiempo estimado de mejora.

$$MTTR = \sum \frac{TPR}{N^{\circ} FALLAS}$$

Este indicador se debe implementar con el objetivo de mejorar significativamente los tiempos de reparación, reduciendo tiempos de inactividad no planificados, periodos de inactividad planificados y maximizar la eficiencia (Ingeniería en Confiabilidad 1, Carlos Parra 2024). La capacitación de los trabajadores es sumamente importante en el entendimiento de la fórmula demostrando como la reducción de este indicador aumenta significativamente la disponibilidad de los activos. Las metas deben ser realistas lo cual incentive actividades de mejora continua. Es importante que la implementación de este indicador se adapte gradualmente, en un principio utilizar este indicador solo en los activos críticos revelados por la matriz de criticidad cualitativa de riesgo y al igual que los

indicadores anteriores el monitoreo de debe ser de forma constante y el desempeño se debe medir en el tiempo estimado de mejora.

$$MTBF = \frac{\text{TIEMPO TOTAL DISPONIBLE} - \text{TIEMPO INACTIVIDAD}}{N^{\circ} \text{ DE FALLAS}}$$

El propósito principal del indicador propuesto es recopilar datos históricos que permitan evaluar la confiabilidad de los equipos (Ingeniería en Confiabilidad 1, Carlos Parra 2024). Para garantizar una implementación efectiva, se recomienda capacitar al personal sobre la fórmula y su relevancia en la mejora de la eficiencia operativa.

La medición y evaluación continua deben ser respaldadas por el software de mantenimiento computarizado SVISION, lo que permita aplicar estrategias y herramientas de mantenimiento basadas en datos históricos confiables obtenidos en el horizonte de al menos un año. Es fundamental realizar ajustes estratégicos para abordar posibles inconvenientes operativos, asegurando la colaboración activa del personal. La implementación gradual del indicador ayuda en la aceptación dentro del sistema de trabajo. El monitoreo del indicador debe ser de forma constante y además se debe evaluar su desempeño dentro del horizonte de tiempo definido para lograr mejoras sostenibles.

$$\text{INDICE DE CAPACITACIÓN} = \frac{\sum \text{HORAS DE CAPACITACIÓN}}{\sum \text{HORAS TRABAJADAS}} * 100$$

El objetivo de la implementación de este indicador es evaluar y gestionar el desarrollo de las habilidades y competencias del personal de mantenimiento (Gestión de la cadena de suministro, Félix Pizarro 2023). En este contexto la capacitación desempeña un papel crucial, no solo como herramienta para mejorar las capacidades del equipo, sino también como un elemento medible que permite valorar el progreso alcanzado. Este indicador ofrece información valiosa sobre el desarrollo de habilidades en el área de mantenimiento, permite identificar fortalezas, debilidades y oportunidades de mejora.

La flexibilidad en el proceso de capacitación es sumamente importante, asegurando que el desarrollo de competencias se mantenga constante y alineado con las demandas cambiantes del entorno operativo. De esta manera, se promueve el crecimiento sostenible y continuo sobre el personal, lo cual contribuye directamente a la eficiencia y efectividad del área de mantenimiento.

### 3.1.3. Matriz de Criticidad Cualitativa de Riesgo.

El diseño de una matriz de criticidad cualitativa por sobre una cuantitativa responde a la falta de datos históricos confiables. La matriz está diseñada para que pueda ser utilizada desde el comienzo de la gestión de activos del área de mantenimiento de la Universidad de los Andes, sin embargo con el tiempo puede ser modificada según las necesidades de la organización.

Los factores de frecuencia de falla, consecuencia, seguridad y disponibilidad educativa fueron establecidos bajo el criterio y experiencia de los trabajadores dentro del área de mantenimiento, considerando técnicos, planificadores y el jefe de mantenimiento. Con el tiempo, se espera que la matriz evolucione y se ajuste progresivamente al contexto operativo, permitiendo la recolección de datos históricos que respalden y validen la criticidad de los activos. Además, es sumamente recomendable implementar otras metodologías como el Jack knife la cual nos permite clasificar los activos según su impacto en la indisponibilidad para la toma de decisiones.

Como se muestra en la tabla 2-8 se calculó la criticidad de los equipos críticos que están bajo la supervisión del área de mantenimiento de la Universidad de los Andes, los equipos que serán evaluados a una optimización en su confiabilidad y mantenibilidad son los generadores: Generador GE-01-CE, Generador GE-01-BIBL, Generador GE-01-CIIB, Generador GE-01-C&H, para así de esta forma demostrar la rentabilidad y el éxito de las propuestas.

### 3.1.4. Fechas Genéricas de mejoramiento Técnico.

En el siguiente año calendario se proponen una serie de fechas, las cuales representan los días en los que el área de mantenimiento de la Universidad de los Andes debe considerar realizar las capacitaciones técnicas, con el objetivo de especializar al área en gestión de activos, uso de software, comprensión de indicadores claves de rendimiento, entre otros.

Figura 3-1: Calendario Año 2025

AÑO 2025											
Enero											
L	M	M	J	V	S	D					
			1	2	3	4	5				
6	7	8	9	10	11	12					
13	14	15	16	17	18	19					
20	21	22	23	24	25	26					
27	28	29	30	31	32						
Febrero											
L	M	M	J	V	S	D					
						1	2				
3	4	5	6	7	8	9					
10	11	12	13	14	15	16					
17	18	19	20	21	22	23					
24	25	26	27	28							
Marzo											
L	M	M	J	V	S	D					
						1	2				
3	4	5	6	7	8	9					
10	11	12	13	14	15	16					
17	18	19	20	21	22	23					
24	25	26	27	28	29	30					
31											
Abril											
L	M	M	J	V	S	D					
		1	2	3	4	5	6				
7	8	9	10	11	12	13					
14	15	16	17	18	19	20					
21	22	23	24	25	26	27					
28	29	30									
Mayo											
L	M	M	J	V	S	D					
			1	2	3	4					
5	6	7	8	9	10	11					
12	13	14	15	16	17	18					
18	19	20	21	22	23	24					
25	26	27	28	29	30	31					
Junio											
L	M	M	J	V	S	D					
						1					
2	3	4	5	6	7	8					
9	10	11	12	13	14	15					
16	17	18	19	20	21	22					
23	24	25	26	27	28	29					
30											
Julio											
L	M	M	J	V	S	D					
		1	2	3	4	5	6				
7	8	9	10	11	12	13					
14	15	16	17	18	19	20					
21	22	23	24	25	26	27					
28	29	30	31								
Agosto											
L	M	M	J	V	S	D					
					1	2	3				
4	5	6	7	8	9	10					
11	12	13	14	15	16	17					
18	19	20	21	22	23	24					
25	26	27	28	29	30	31					
Septiembre											
L	M	M	J	V	S	D					
		1	2	3	4	5	6	7			
8	9	10	11	12	13	14					
15	16	17	18	19	20	21					
22	23	24	25	26	27	28					
29	30										
Octubre											
L	M	M	J	V	S	D					
			1	2	3	4	5				
6	7	8	9	10	11	12					
13	14	15	16	17	18	19					
20	21	22	23	24	25	26					
27	28	29	30	31							
Noviembre											
L	M	M	J	V	S	D					
						1	2				
3	4	5	6	7	8	9					
10	11	12	13	14	15	16					
17	18	19	20	21	22	23					
24	25	26	27	28	29	30					
Diciembre											
L	M	M	J	V	S	D					
		1	2	3	4	5	6	7			
8	9	10	11	12	13	14					
15	16	17	18	19	20	21					
22	23	24	25	26	27	28					
29	30	31									

Fuente: Elaboración propia en base a la información entregada por la empresa

- 3 Marzo, 2025: Contar con el personal necesario para las propuestas, Ingeniero y Facilitador.
- 24-27 Marzo, 2025: Formación ISO 55000, Curso Online Cides Corpotraining.
- 21-23 Abril, 2025: Capacitación uso de Software SVISION (área de planificación y técnica).
- 12-14 Mayo, 2025: Capacitación de Indicadores claves de Rendimiento, Disponibilidad, Confiabilidad y Mantenibilidad (RAM).
- 16-18 Junio, 2025: Capacitación metodología Balanced Scorecard.
- 14-16 Julio, 2025: Proceso de Auditoría Externa.
- 11-13 Agosto, 2025: Capacitación metodología de matriz de criticidad cualitativa de riesgo.
- 8-10 Septiembre, 2025: Capacitación metodología análisis causa raíz.
- 15-17 Noviembre, 2025: Evaluación de efectividad de las soluciones.

Las fechas y orden de las capacitaciones pueden variar dependiendo de las necesidades de la organización, sin embargo la capacitación en la norma ISO 55000 es recomendable llevarla a cabo dentro de los primeros meses del año, así como la auditoría externa debe ser a mediados de año con el fin de realizar modificaciones y cambiar el plan de acción en caso de ser necesario.

### **3.2. EVALUACIÓN ECONOMICA.**

En este apartado se presentará el análisis económico sobre los activos críticos, los cuales son los generadores que están bajo el cuidado del área de mantenimiento de la Universidad de los Andes, se evaluará de manera que se pueda representar un beneficio para la empresa utilizando las propuestas mencionadas en el capítulo dos.

#### **3.2.1. Escenario Actual**

Actualmente el área de mantenimiento de la Universidad de los Andes tiene bajo su supervisión 6 generadores distribuidos en todo el campus, 4 de estos 6 generadores son activos que presentan una Muy Alta Criticidad, según la tabla (2-8), es por esto por lo que estos activos serán evaluados económicamente. En la siguiente tabla se representan los Cotos de Indisponibilidad por Fallos (CIF) de los 4 generadores.

Tabla 3-2: Costos de Indisponibilidad por Fallos CIF actual

Costos de Indisponibilidad por Fallos CIF		
<b>Datos y Estimaciones</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Nombre Equipo	Generador GE-01-CE	-
Costos SHA	\$ 30.000	CLP\$/Hora
Costos Mant Correctivo	\$ 10.000	CLP\$/Hora
Costos Penalización	\$ 225.000	CLP\$/Hora
<b>CIF (Escenario Actual)</b>		
Frecuencia de Fallas	7	Fallos/Año
TPFS (Tiempo Fuera de Servicio)	16	Horas/Fallo
<b>CIF</b>	\$ 29.680.000	CLP\$/Año
<b>Datos y Estimaciones</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Nombre Equipo	Generador GE-01-BIBL	-
Costos SHA	\$ 30.000	CLP\$/Hora
Costos Mant Correctivo	\$ 10.000	CLP\$/Hora
Costos Penalización	\$ 225.000	CLP\$/Hora
<b>CIF (Escenario Actual)</b>		
Frecuencia de Fallas	4	Fallos/Año
TPFS (Tiempo Fuera de Servicio)	16	Horas/Fallo
<b>CIF</b>	\$ 16.960.000	CLP\$/Año
<b>Datos y Estimaciones</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Nombre Equipo	Generador GE-01-CIIB	-
Costos SHA	\$ 30.000	CLP\$/Hora
Costos Mant Correctivo	\$ 10.000	CLP\$/Hora
Costos Penalización	\$ 225.000	CLP\$/Hora
<b>CIF (Escenario Actual)</b>		
Frecuencia de Fallas	5	Fallos/Año
TPFS (Tiempo Fuera de Servicio)	16	Horas/Fallo
<b>CIF</b>	\$ 21.200.000	CLP\$/Año
<b>Datos y Estimaciones</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Nombre Equipo	Generador GE-01-C&H	-
Costos SHA	\$ 30.000	CLP\$/Hora
Costos Mant Correctivo	\$ 10.000	CLP\$/Hora
Costos Penalización	\$ 225.000	CLP\$/Hora
<b>CIF (Escenario Actual)</b>		
Frecuencia de Fallas	5	Fallos/Año
TPFS (Tiempo Fuera de Servicio)	16	Horas/Fallo
<b>CIF</b>	\$ 21.200.000	CLP\$/Año

Fuente: Elaboración propia en base a la información entregada por la empresa

En la siguiente tabla se muestra cuánto dinero en total se pierde por indisponibilidad considerando el CIF de los 4 Generadores.

Tabla 3-3: CIF Total Generadores

<b>CIF GE-01-CE</b>	\$	29.680.000	CLP\$/Año
<b>CIF GE-01-CIIB</b>	\$	21.200.000	CLP\$/Año
<b>CIF GE-01-BIBL</b>	\$	16.960.000	CLP\$/Año
<b>CIF GE-01-C&amp;H</b>	\$	21.200.000	CLP\$/Año
<b>TOTAL CIF GENERADORES</b>	\$	<b>89.040.000</b>	CLP\$/Año

Fuente: Elaboración propia en base a la información entregada por la empresa

### 3.2.2. Escenario futuro.

Con respecto a cuanto sería el costo total por indisponibilidad luego de implementar las propuestas mencionadas en el capítulo dos se plantea la siguiente pregunta. ¿Qué pasaría con los costos de indisponibilidad por fallo si la frecuencia de falla y el tiempo promedio fuera de servicio disminuyen?

Para esta pregunta se plantean 2 escenarios futuros con diferentes perspectivas:

#### 3.2.2.1. Escenario futuro Pesimista.

En este escenario la frecuencia de falla y el tiempo promedio fuera de servicio tendrán una reducción bastante baja, la cual se distribuye de la siguiente manera.

- Frecuencia de falla: Reducción mínima, solo se redujo la frecuencia de falla en una unidad por generador.
- Tiempo Promedio Fuera de Servicio: Reducción baja, solo se redujo el tiempo de reparación en 2 horas.

Considerando estos factores el CIF total de los generadores resulta de la siguiente manera.

Tabla 3-4: CIF Total Generadores, escenario Pesimista.

<b>CIF GE-01-CE</b>	\$	22.260.000	CLP\$/Año
<b>CIF GE-01-CIIB</b>	\$	14.840.000	CLP\$/Año
<b>CIF GE-01-BIBL</b>	\$	11.130.000	CLP\$/Año
<b>CIF GE-01-C&amp;H</b>	\$	14.840.000	CLP\$/Año
<b>TOTAL CIF GENERADORES</b>	\$	<b>63.070.000</b>	CLP\$/Año

Fuente: Elaboración propia en base a la información entregada por la empresa

### 3.2.2.2. Escenario futuro Optimista

En este escenario la frecuencia de falla y el tiempo promedio fuera de servicio tendrán una reducción considerablemente alta, la cual se distribuye de la siguiente manera.

- Frecuencia de falla: Reducción alta, se redujo la frecuencia de falla en 3 unidades.
- Tiempo Promedio Fuera de Servicio: Reducción alta, se redujo el tiempo de reparación en 4 horas.

Considerando estos factores el CIF total de los generadores resulta de la siguiente manera.

*Tabla 3-5: CIF Total Generadores, escenario optimista*

<b>CIF GE-01-CE</b>	\$	13.780.000	CLP\$/Año
<b>CIF GE-01-CIIB</b>	\$	6.890.000	CLP\$/Año
<b>CIF GE-01-BIBL</b>	\$	3.445.000	CLP\$/Año
<b>CIF GE-01-C&amp;H</b>	\$	6.890.000	CLP\$/Año
<b>TOTAL CIF GENERADORES</b>	\$	<b>31.005.000</b>	CLP\$/Año

Fuente: Elaboración propia en base a la información entregada por la empresa

La correcta implementación de las propuestas establecidas podrá acercar al área de mantenimiento de la Universidad de los Andes a este escenario futuro logrando un potencial ahorro anual de **58.035.00 CLP\$/Año**, Sin considerar la inversión para la implementación

### 3.2.3. Costos de Inversión para la implementación.

En esta sección se presentarán los costos de la inversión necesaria para llevar a cabo las propuestas indicadas

Ingeniero en Mantenimiento: debe contar con las competencias necesarias para liderar, planificar, administrar y controlar el plan de mantenimiento; aplicando herramientas metodológicas, considerando indicadores claves y optimizando el proceso de acuerdo con estándares de calidad, seguridad y medio ambiente. Debe tener conocimientos sobre el modelo de gestión de mantenimiento. Por otra parte es necesario que cuente con las habilidades para implementar metodologías como el Balanced

Scorecard, Matriz de criticidad cualitativa y cuantitativa de Riesgo y análisis de causa raíz. Es un requisito excluyente que este fuertemente familiarizado con la Norma ISO 55000

Curso Formación ISO 55000: Especialmente debe lograr que los participantes adquieran una cultura de trabajo enfocada en acciones preventivas, además debe agregar valor a la organización a lo largo del ciclo de vida de los activos. Este curso debe ser tomado por 2 miembros del área de mantenimiento de la Universidad de los Andes, es recomendable que estos sean el planificador de mantenimiento y el técnico en mantenimiento industrial.

Auditoría Externa: Es completamente fundamental realizar la auditoria sobre la norma ISO 55000, de esta manera podemos medir, controlar, gestionar y mejorar el plan de acción sobre la implementación de la filosofía de trabajo dependiendo de los resultados de esta auditoría, Permitiendo modificar el plan de acción según las necesidades de la empresa. La cantidad de veces a realizar la auditoría es una vez por año.

A continuación, se presenta la tabla con los costos de inversión, con un total anual de **31.300.000 \$CLP**.

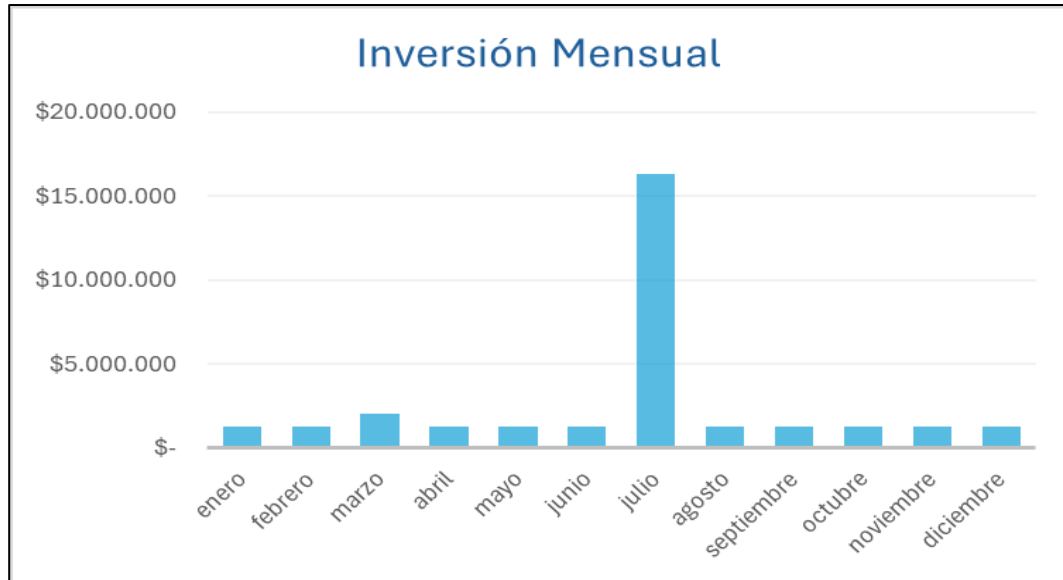
*Tabla 3-6: Costos de Inversión*

Ítem	Gasto Mensual (\$CLP)	Gasto Anual (\$CLP)
Ingeniero en Mantenimiento	\$ 1.300.000	\$ 15.600.000
Curso Online Formacion ISO 55000	\$ 350.000 (por participante)	\$ 700.000
Auditoria Externa	\$ 15.000.000	\$ 15.000.000
<b>Total</b>		<b>\$ 31.300.000</b>

Fuente: Elaboración propia en base a la información entregada por la empresa

En el siguiente grafico se muestra el costo de la inversión, en donde el mes de marzo cuenta con un valor de 2.000.000 \$CLP debido a que en ese mes se realizara el curso Online sobre la Norma ISO 55000, por otro lado el mes de julio cuenta con un valor de 16.300.000 \$CLP ya que ese mes es recomendable realizar la auditoría externa. Los otros meses solo cuentan con el gasto del sueldo del Ingeniero de Mantenimiento.

Gráfico 3-1: Inversión Mensual



Fuente: Elaboración propia en base a la información entregada por la empresa

A continuación, se presenta una tabla que hace referencia a los posibles beneficios considerando el escenario futuro optimista en un horizonte de 5 años.

Tabla 3-7: Inversión y Beneficio en 5 años

Inversión por año	\$ 31.300.000	CLP\$/Año
<b>Inversión en 5 años</b>	<b>\$ 156.500.000</b>	CLP\$/Año
Beneficio por año	\$ 58.035.000	CLP\$/Año
<b>Beneficio en 5 años</b>	<b>\$ 290.175.000</b>	CLP\$/Año

Fuente: Elaboración propia en base a la información entregada por la empresa

Ecuación 3-1: Retorno de Inversión

$$ROI = \frac{\text{Ingresos} - \text{Inversión}}{\text{Inversión}} \times 100$$

Fuente: Documentación otorgada por la universidad

Donde:

- Ingresos: Cantidad de beneficios obtenidos a través de las propuestas establecidas en un tiempo determinado.

- Inversión: Cantidad total de inversión para implementar las propuestas establecidas en un tiempo determinado.

El objetivo del indicador es evaluar la rentabilidad financiera de una inversión o proyecto.

*Ecuación 3-2: Resultado Retorno de Inversión*

$$ROI = \frac{290.175.000 - 156.500.000}{156.500.000} \times 100 = 85\%$$

Fuente: Documentación otorgada por la universidad

Como muestran los cálculos al momento de hacer una evaluación económica del proyecto tenemos que para un escenario optimista en donde la frecuencia de falla y el tiempo promedio fuera de servicio se vean reducidos de una buena manera, el proyecto otorga un retorno de la inversión del 85%. Lo cual se traduce en que el proyecto es rentable a largo plazo y en el caso de que los indicadores de confiabilidad y mantenibilidad se puedan optimizar los beneficios serían aun mejores.

El cálculo del ROI nos muestra que existe un impacto financiero importante una vez las propuestas se implementen dentro del área. No obstante, es preciso mencionar que las cifras datos y costos están sujetas a modificaciones, además los factores externos como cambios en el mercado, cambios en el contexto operacional o cambios asociados a la actualidad del país pueden afectar al proyecto.

Es por lo mismo que se recomienda realizar un seguimiento continuo y ajustar lo planificado según las necesidades que se presenten. Contar con el apoyo de la gerencia en este cambio de filosofía de trabajo es sumamente importante así como también la comunicación entre los niveles estratégicos, técnico y operativo de la organización. Todos estos factores deben ser tomados en cuenta si se desea convertir estas propuestas en trabajos exitosos dentro de la organización.

## **CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES**

A través del desarrollo de este trabajo de título el alumno logró una comprensión total sobre el contexto operativo del área de mantenimiento de la Universidad de los Andes, determinando oportunidades de mejora en muchos ámbitos gracias a la auditoría de mantenimiento AMORMS realizada. Profundizar en los resultados generales y específicos de esta encuesta junto con las entrevistas realizadas a los miembros del área de mantenimiento, entregaron una visión global permitiendo crear propuestas de mejora adaptadas al contexto operacional.

Las propuestas planteadas para la fase de eficacia del modelo de gestión de mantenimiento abordando desde la capacitación en la Norma ISO 55000 hasta la implementación de metodologías como el análisis causa raíz , demuestran un enfoque metodológico el cual es útil para abarcar las brechas que fueron identificadas. Mientras que el planteo de los diferentes indicadores del Balanced Scorecard agilizan la medición de los procesos del área de mantenimiento.

En cuanto a la evaluación técnica y económica de las propuestas se ha logrado un ROI del 85%, el cual respalda la rentabilidad y eficacia de las medidas planteadas. Gracias a esto resultados se puede concluir que mejorar las 3 primeras etapas del modelo de gestión de mantenimiento impacta de manera positiva no solo en el área de mantenimiento de la Universidad de los Andes, sino que también en toda la organización, ayudando a tener un ambiente que incentive la educación y la investigación. Es por eso por lo que como recomendación general se menciona que en el futuro se hagan análisis con el objetivo de mejorar las fases restantes del modelo de gestión de mantenimiento con el propósito de alcanzar la mejora continua y una calificación de clase mundial en futuras auditorías.

Con relación al cumplimiento de los objetivos, en primer lugar gracias a visitas en terreno y a la auditoría AMORMS se logro describir la Universidad de los Andes de manera precisa, además de que se determinaron oportunidades de mejora considerables. Posteriormente los planes de mejora se establecieron en el capitulo dos utilizando varias metodologías las cuales permitieron optimizar el modelo de gestión de mantenimiento. Por ultimo las propuestas mencionadas se sometieron a un análisis técnico y económico, en donde a través de diferentes indicadores se comprobó que las soluciones si generarán

un beneficio económico a largo plazo para la organización, Cumpliendo mayoritariamente con los objetivos específicos y con el objetivo general.

Finalmente, este trabajo de título presenta una guía práctica orientada a optimizar la gestión de mantenimiento en el contexto presentado. No obstante, dicha guía posee un carácter adaptable, lo que permite su aplicación en diversas industrias, especialmente en aquellas que aún no están familiarizadas con la importancia de una gestión de mantenimiento eficiente. En particular, las propuestas desarrolladas pueden ser implementadas en otras instituciones de educación superior, contribuyendo así a profesionalizar y mejorar la gestión del mantenimiento en el ámbito universitario.

## **BIBLIOGRAFÍA.**

Sitio web oficial Universidad de los andes.

Sitio web oficial Universidad Técnica Federico Santa María.

Carlos Parra y Adolfo Crespo, 2012, Ingeniería de Mantenimiento y fiabilidad Aplicada en la Gestión de Activos.

Carlos Parra, Pablo Viveros, Fredy Kistjanpoller, Adolfo Crespo, 2021, Técnicas de auditoria para los procesos de: Mantenimiento, Fiabilidad operacional y gestión de activos (AMORMS & AMS-ISO 55000)

Norma ISO 14224: 2016, Industrias de petróleo, petroquímica y gas natural – recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos.

Norma ISO 55000: 2014, Gestión de Activos: visión general, principios y terminología.

Carlos Parra, 2024, Técnicas de análisis causa raíz (ACR).

Carlos Parra, 2024, Ingeniería en Confiabilidad 1.

Feliz Pizarro, 2023, Gestión de la Cadena de Suministros, Balanced Scorecard.

CIDES (2024), Formación de la Gestión de Activos Físicos acorde a ISO 55000.