

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**SEDE CUENCA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

Trabajo de titulación previo a la  
obtención del título de Ingeniero  
Mecánico e Ingeniera Mecánica

**PROYECTO TÉCNICO:**

**“MODELO DE AUDITORÍA PARA LA GESTIÓN DE  
MANTENIMIENTO DE ACTIVOS FÍSICOS. CASO DE  
ESTUDIO: LABORATORIOS DEL ÁREA MECÁNICA DE LA  
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA”**

**AUTORES:**

ANDERSON ANDRES MOGOLLÓN ESPINOZA

MAYRA VIVIANA PUEDMAG PÉREZ

**TUTOR:**

DR. RENÉ VINICIO SÁNCHEZ LOJA

CUENCA - ECUADOR

2021

# CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Anderson Andrés Mogollón Espinoza con documento de identificación N° 0705438034 y Mayra Viviana Piedmag Pérez con documento de identificación N° 0301944054 manifestamos nuestra voluntad, y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación: **“MODELO DE AUDITORÍA PARA LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO DE ACTIVOS FÍSICOS. CASO DE ESTUDIO: LABORATORIOS DEL ÁREA MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA”**, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniero Mecánico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores, nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, Septiembre de 2021



---

Anderson Andrés Mogollón Espinoza  
C.I. 0705438034



---

Mayra Viviana Piedmag Pérez  
C.I. 0301944054

# CERTIFICACIÓN

Yo, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **“MODELO DE AUDITORÍA PARA LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO DE ACTIVOS FÍSICOS. CASO DE ESTUDIO: LABORATORIOS DEL ÁREA MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA”**, realizado por Anderson Andrés Mogollón Espinoza y Mayra Viviana Piedmag Pérez, obteniendo el Proyecto Técnico, que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, Septiembre de 2021



---

Dr. René Vinicio Sánchez.

C.I. 0103409587

# DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Anderson Andres Mogollón Espinoza con documento de identificación N° 0705438034 y Mayra Viviana Piedmag Pérez con documento de identificación N° 0301944054, autores del trabajo de titulación: **“MODELO DE AUDITORÍA PARA LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO DE ACTIVOS FÍSICOS. CASO DE ESTUDIO: LABORATORIOS DEL ÁREA MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA”**, certificamos que el total contenido del Proyecto Técnico es de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, Septiembre de 2021



---

Anderson Andrés Mogollón Espinoza  
C.I. 0705438034



---

Mayra Viviana Piedmag Pérez  
C.I. 0301944054

# AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer:

A mi Dios, no encuentro maneras de agradecerte por la dichosa oportunidad de estar aquí. Mientras cierro un año y abro otro, pienso en todas las bendiciones, beneficios y favores, para solventar mis conocimientos, gracias Dios por todo.

A mis padres, muchas gracias por apoyarme, comprenderme y ayudarme a moldear mi vida con positividad y pasión durante mis años de estudio. Cualquier éxito que haya tenido, ha sido el resultado directo de la ética de trabajo y los valores que ambos me inculcaron.

Al Dr. René Sánchez, gracias por ser no sólo ser un guía, sino un amigo para la acertada orientación, el soporte y solución de este trabajo de titulación. Gracias por la ayuda y confianza en mí depositada.

A mi compañera de tesis Mayra, que a pesar de todo lo que ha pasado, mi corazón nunca olvidará que somos amigos. Desde aquí te agradezco por siempre tener una palabra de aliento, por siempre tenderme una mano y por tener tolerancia en cada aspecto para el cumplimiento de este proyecto.

*Anderson Mogollón*

Quiero agradecer:

A Dios, por brindarme la sabiduría necesaria y bendecirme siempre.

A mis padres por su apoyo incondicional, este logro es por y para ustedes.

A mi prima Dayana, por su cariño y por esas palabras de aliento que llegaban siempre en el instante preciso.

A mis amigos, quienes supieron confortarme en aquellos momentos en que los ánimos decaían, a todos aquellos que se convirtieron en mi segunda familia, gracias por haberme hecho sentir única y especial entre todos ustedes, a los grupos LUNV y ST ya que sin ellos la estadía universitaria no hubiera sido la misma.

A mi buen amigo y compañero de tesis Anderson Andrés, a pesar de todo lo atravesado en este camino, la amistad siempre ha prevalecido lo cual agradezco infinitamente.

Finalmente, a todos los docentes que a lo largo de mi vida universitaria me brindaron sus conocimientos, de forma especial al Dr. René Vinicio Sánchez, tutor del presente trabajo de titulación, al Ing. Fran Reinoso, en su calidad de coordinador de laboratorios y a todos los laboratoristas por la paciencia y disponibilidad mostrada siempre.

*Mayra Puedmag*

# DEDICATORIAS

Quiero agradecer:

A mi Dios por proporcionarme la sabiduría para realizar este proyecto y regalarme un día mas de vida

A mis padres Iliana Espinoza y Jorge Mogollón, por darme la oportunidad de estar aquí para que yo pueda completar mi carrera universitaria.

Al grupo de alto rendimiento en mezclas de etanol “LUNVA”, por su empatía y compromiso, ya que fué un medio para contrarrestar situaciones psicológicas, y obtener un mayor raciocinio en el momento de la argumentación del proyecto técnico. Muchas gracias por permitirme alcanzar un estado de confort pleno tanto mental como físico.

*Anderson Mogollón*

Este trabajo va dedicado:

A Dios, quien guía mis pasos y me otorga la fortaleza necesaria para no decaer.

A mi querida madre Aida Matilde, que con mucho esfuerzo y sacrificio me ha ayudado a alcanzar todo lo que he anhelado, a ella que con su sabiduría y amor infinito me impulsa día tras día y me invita a no rendirme jamás, no existen las palabras justas para enaltecer y agradecer por tanto a tan sublime mujer.

A mis dos grandes amores Mateo y Emmanuel, dos seres llenos de inocencia y luz infinita, quienes con su ternura han alegrado mis días. Mi pequeño Mateo, sé que tú velas mis sueños y me cuidas desde el cielo, gracias por enseñarme tanto a tu corta edad. Al dueño de mi vida mi adorado Emmanuel, con tu sonrisa y tu mirada has reconfortado mis momentos de tristeza y angustia, tus abrazos siempre me dan la paz que necesito, gracias a ti, comprendo que la vida nos la complicamos los adultos y que todo tiene solución.

A mi querido abuelo Rafael Pérez, quien con su figura paterna me ha acompañado de forma inimaginable a lo largo de los años.

*Mayra Piedad*

# RESUMEN

La presente tesis propone un modelo de auditoría para la gestión de mantenimiento de activos físicos, y se llevó a cabo en los laboratorios del área mecánica, precisamente a los laboratorios de ensayos destructivos y centro de mecanizado CNC. La auditoría se realizó con el propósito de conocer el estado actual de los procesos de mantenimiento de los laboratorios, frente a valores ideales. A continuación, para alcanzar los objetivos planteados, el proyecto técnico se desarrolló mediante los siguientes puntos:

En la sección cinco se estructura los fundamentos teóricos que permitió dar soporte al desarrollo del modelo de auditoría. Para darle cumplimiento al mismo se realiza un estudio bibliográfico detallado de los principales aspectos a considerar. Se abordan las temáticas: activo físico, gestión de activos, sistemas de gestión, mantenimiento, auditoría, representación gráfica de resultados y técnicas de toma de decisiones con múltiples criterios.

La sección seis corresponde al marco experimental. Aquí se propone el proceso para llevar a cabo el modelo, conformado por cuatro fases. La fase uno tiene como objetivo seleccionar los criterios y subcriterios de auditoría acorde al contexto y a las mejores prácticas de mantenimiento en la organización; por tal motivo, se contó con un destacado grupo de expertos con un amplio conocimiento en el mantenimiento. Es importante considerar que se utilizó la metodología Delphi(cuestionario) para la recolección de los datos proporcionado por los expertos.

La fase dos, se realizó la aplicación del método ANP, para ponderar los criterios y subcriterios de auditoría según el nivel de importancia, y son los referentes para la elaboración del instrumento de evaluación. Se definieron los porcentajes para los nueve criterios dando como resultado las siguientes asignaciones: Talento humano 30 %, ejecución de mantenimiento 21 %, organización general 12 %, manejo de mantenimiento 10 %, procesos de programación, planificación y optimización de planes de mantenimiento 8 %, monitoreo financiero de mantenimiento y KPIS 5 %, tercerización de actividades de mantenimiento 5 %, manejo de inventario de bodega de repuestos 5 % y modelos de jerarquización basado en riesgos 4 %.

La fase tres contempla la elaboración del sistema o instrumento de evaluación que el equipo auditor utilizó en base a los criterios y subcriterios de auditoría ya priorizados, y con su respectiva escala de valoración que permitió evaluar el nivel de exigencia de

cada elemento. A partir del instrumento de evaluación, se valida el modelo de auditoría propuesto en el objeto de estudio, para el cumplimiento de esta fase se emplea el plan de auditoría, programa de auditoría, instrumento de evaluación y el personal involucrado de los laboratorios de ingeniería mecánica.

Finalmente, en la sección siete se presenta los resultados del proceso de auditoría a la gestión de mantenimiento, misma que evidenció ocho no conformidades mayores para los subcriterios: requisitos de alta gerencia, plan integral de gestión de activos, planes de mantenimiento por condición, mantenimiento predictivo, mantenimiento preventivo, gestión del rendimiento, gestión de órdenes de trabajo, documentación y análisis de fallos, efectos y consecuencias y diez no conformidades menores, en los subcriterios: estrategia integral y objetivos de mantenimiento, gastos de mantenimiento, presupuestos de mantenimiento, priorización de equipos (criticidad), capacitación y entrenamiento, certificación de personal, motivación al personal, control de planes de mantenimiento, mantenimiento correctivo, información sobre averías.

Cada hallazgo del proceso de auditoría se encuentra documentado (evidencia), tras analizar los resultados del proceso de auditoría se concluyó que las áreas auditadas de acuerdo con su umbral de desempeño, se encuentra en un nivel debajo del promedio, por lo cual se recomienda llevar a cabo planes de acción para contrarrestar los resultados.

# ABSTRACT

This thesis proposes an audit model for the maintenance management of physical assets, and was carried out in the laboratories of the mechanical area, specifically in the destructive testing laboratories and CNC machining center. The audit was carried out with the purpose of knowing the current state of the maintenance processes of the laboratories, compared to ideal values. Then, in order to achieve the stated objectives, the technical project was developed through the following points:

Section five structures the theoretical foundations that allowed to support the development of the audit model. A detailed bibliographic study of the main aspects to be considered is carried out. The following topics are addressed: physical assets, asset management, management systems, maintenance, auditing, graphical representation of results and multi-criteria decision-making techniques.

Section six corresponds to the experimental framework. Here the process for carrying out the model is proposed, consisting of four phases. The objective of phase one is to select the audit criteria and sub-criteria according to the context and the best maintenance practices in the organization; for this reason, an outstanding group of experts with a wide knowledge in maintenance was used. It is important to consider that the Delphi methodology (questionnaire) was used to collect the data provided by the experts.

In phase two, the ANP method was applied to weight the audit criteria and sub-criteria according to the level of importance, and are the referents for the elaboration of the evaluation instrument. The percentages for the nine criteria were defined, resulting in the following allocations: Human talent 30 %, maintenance execution 21 %, general organization 12 %, maintenance management 10 %, maintenance plan scheduling, planning and optimization processes 8 %, financial monitoring of maintenance and KPIS 5 %, outsourcing of maintenance activities 5 %, spare parts warehouse inventory management 5 % and risk-based hierarchy models 4 %.

Phase three contemplates the development of the evaluation system or instrument that the audit team used based on the prioritized audit criteria and sub-criteria, and with their respective assessment scale that allowed the evaluation of the level of requirement of each element. Based on the evaluation instrument, the audit model proposed in the object of study is validated, for the fulfillment of this phase the audit plan, audit program, evaluation instrument and the personnel involved in the mechanical engineering

laboratories are used.

Finally, section seven presents the results of the maintenance management audit process, which revealed eight major nonconformities for the following subcriteria: top management requirements, comprehensive asset management plan, condition-based maintenance plans, predictive maintenance, preventive maintenance, performance management, work order management, documentation and analysis of failures, effects and consequences, and ten minor nonconformities for the following subcriteria: comprehensive strategy and maintenance objectives, maintenance expenditures, maintenance budgets, equipment prioritization (criticality), training and coaching, staff certification, staff motivation, maintenance plan control, corrective maintenance, failure reporting.

Each finding of the audit process is documented (evidence). After analyzing the results of the audit process, it was concluded that the audited areas, according to their performance thresholds, are below average; therefore, it is recommended that action plans be implemented to counteract the results.

# ÍNDICE DE CONTENIDO

SECCIÓN	PÁGINA
CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR	III
CERTIFICACIÓN	IV
DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD	V
AGRADECIMIENTOS	VII
DEDICATORIA	IX
RESUMEN	XI
ABSTRACT	XIII
ÍNDICE DE FIGURAS	XIX
ÍNDICE DE TABLAS	XXI
LISTA DE ACRÓNIMOS	XXII
<b>1 TEMA</b>	<b>1</b>
<b>2 INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	<b>2</b>
3.1 Antecedentes . . . . .	2
3.2 Importancia y alcance . . . . .	4
3.3 Delimitación . . . . .	5
3.4 Problema general . . . . .	5
3.5 Problemas Específicos . . . . .	6
<b>4 OBJETIVOS</b>	<b>7</b>
4.1 Objetivo General . . . . .	7
4.2 Objetivos Específicos . . . . .	7

<b>5</b>	<b>FUNDAMENTOS TEÓRICOS</b>	<b>8</b>
5.1	Activo Físico . . . . .	8
5.1.1	Ciclo de Vida . . . . .	9
5.2	Gestión de Activos . . . . .	11
5.2.1	Antecedentes históricos . . . . .	11
5.2.2	Generalidades . . . . .	12
5.3	Sistema de gestión . . . . .	14
5.3.1	Sistema de gestión de activos y el contexto de organización . . . . .	16
5.3.2	Alcance de los niveles de gestión de activos . . . . .	17
5.3.2.1	Nivel Estratégico . . . . .	18
5.3.2.2	Nivel Táctico . . . . .	20
5.3.2.3	Nivel operativo . . . . .	21
5.4	Mantenimiento . . . . .	22
5.4.1	Definición . . . . .	22
5.4.2	Gestión de la estrategia de mantenimiento . . . . .	23
5.4.2.1	Formulación e implementación de la estrategia de mantenimiento . . . . .	24
5.4.2.2	Enfoque del mantenimiento bajo la gestión de activos . . . . .	25
5.5	Auditoría . . . . .	28
5.5.1	Definición . . . . .	28
5.5.2	Tipos de auditoría . . . . .	29
5.5.3	Auditoría a la gestión de mantenimiento de activos físicos . . . . .	30
5.5.4	Norma ISO/PC 302 19011:2018. Directrices para la auditoría de los sistemas de gestión . . . . .	31
5.5.4.1	Principios de auditoría . . . . .	31
5.5.5	Gestión de un programa de auditoría . . . . .	32
5.5.5.1	Generalidades . . . . .	32
5.5.5.2	Elementos de un programa de auditoría . . . . .	32
5.5.5.3	Metodología . . . . .	32
5.5.6	Gestión del plan de auditoría . . . . .	34
5.5.6.1	Generalidades . . . . .	34
5.5.6.2	Elementos de un plan de auditoría . . . . .	34
5.5.7	Criterio de auditoría . . . . .	35
5.5.7.1	Definición . . . . .	35

5.5.8	Hallazgo de auditoría . . . . .	37
5.5.9	Métodos y técnicas para la obtención de información de la auditoría	37
5.5.9.1	Método de encuestas . . . . .	38
5.5.9.2	Técnica de observación . . . . .	39
5.6	Representación gráfica de resultados . . . . .	39
5.6.1	Radar de mantenimiento . . . . .	39
5.6.2	Diagrama de pastel . . . . .	40
5.6.3	Gráfico de barras . . . . .	41
5.7	Técnicas de toma de decisiones con múltiples criterios . . . . .	41
5.7.1	Métodos basados en la teoría de valor . . . . .	42
5.7.1.1	Proceso de análisis jerárquico “AHP” . . . . .	42
5.7.2	Proceso analítico en red “ANP” . . . . .	46
5.7.2.1	Generalidades . . . . .	47
<b>6</b>	<b>MARCO EXPERIMENTAL</b>	<b>51</b>
6.1	Fase 1: Selección de los criterios y subcriterios de auditoría . . . . .	52
6.2	Fase 2: Ponderación de los criterios y subcriterios de auditoría mediante el método (ANP) . . . . .	56
6.3	Fase 3: Elaboración del instrumento de evaluación . . . . .	71
6.3.1	Identificación de los componentes del instrumento de evaluación .	71
6.3.2	Determinación de los niveles de exigencias . . . . .	71
6.3.3	Elaboración del umbral de desempeño . . . . .	72
6.4	Fase 4: Validación del modelo de auditoría, aplicando al caso de estudio .	74
6.4.1	Datos preliminares de los laboratorios del área de Mecánica de la Universidad Politécnica Salesiana, Sede Cuenca . . . . .	74
6.4.2	Misión . . . . .	74
6.4.3	Visión . . . . .	74
6.5	Proceso de auditoría . . . . .	75
6.5.1	Fase 1: Conocimiento preliminar de las áreas a auditar . . . . .	76
6.5.2	Fase 2: Preparación y planificación de actividades de auditoría . .	76
6.5.2.1	Selección del equipo auditor . . . . .	77
6.5.2.2	Elaboración del programa de auditoría . . . . .	77
6.5.2.3	Planificación de actividades de auditoría . . . . .	78
6.5.3	Fase III: Inicio de la auditoría . . . . .	80
6.5.3.1	Comunicación de inicio de auditoría . . . . .	80

6.5.4	Fase IV: Realización de la auditoría en Situ . . . . .	81
6.5.4.1	Reunión de apertura . . . . .	81
6.5.4.2	Verificación y recolección de la información . . . . .	81
6.5.4.3	Hallazgos . . . . .	85
6.5.4.4	Reunión de Cierre . . . . .	85
<b>7</b>	<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>	<b>87</b>
7.1	Representación de los resultados de la auditoría . . . . .	87
7.1.1	Desempeño de los criterios de auditoría . . . . .	88
7.2	Desempeño de los subcriterios de auditoría . . . . .	90
7.2.1	Fase V: Finalización de la auditoría . . . . .	90
7.2.1.1	Informe final . . . . .	90
7.2.1.2	Revisión Documental . . . . .	92
7.2.1.3	Plan de Acción . . . . .	93
	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>98</b>
	<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>99</b>
	<b>TRABAJOS FUTUROS</b>	<b>99</b>
	<b>REFERENCIAS</b>	<b>118</b>
<b>A</b>	<b>ANEXOS</b>	<b>119</b>
A.1	Cuestionario a profesionales de mantenimiento . . . . .	119
A.1.1	Preguntas . . . . .	126
A.1.2	Tabulación de resultados sección 1 y 2 . . . . .	128
A.1.3	Tabulación de resultados sección 3 . . . . .	129
A.1.4	Coficiente Alpha de Cronbach . . . . .	133
A.2	Matrices de comparación pareada . . . . .	135
A.2.1	Comparativas de clústeres respecto a ejecución de mantenimiento	135
A.2.2	Comparativas de clústeres respecto a Manejo de Inventario . . . .	135
A.2.3	Comparativas de clústeres respecto a modelos de jerarquización, monitoreo financiero de mantenimiento y organización general . .	136
A.2.4	Comparativas de clústeres respecto a Procesos de programación, planificación, de planes de mantenimiento . . . . .	137
A.2.5	Comparativas de clústeres respecto a talento humano . . . . .	138

A.3	Aplicación del instrumento de evaluación . . . . .	139
A.3.1	Criterio: Organización general (OG) . . . . .	139
A.3.2	Criterio: Monitoreo Financiero de mantenimiento y KPIS . . . . .	140
A.3.3	Criterio: Tercerización de actividades de mantenimiento . . . . .	140
A.3.4	Criterio: Modelos de jerarquización basado en riesgos . . . . .	140
A.3.5	Criterio: Talento Humano . . . . .	141
A.3.6	Criterio: Procesos de programación, planificación y optimización de planes de mantenimiento . . . . .	141
A.3.7	Criterio: Manejo de Mantenimiento . . . . .	142
A.3.8	Criterio: Ejecución de Mantenimiento . . . . .	143
A.3.9	Criterio: Manejo de inventario de bodega . . . . .	144
A.4	Umbral de desempeño final de los laboratorios de las áreas de ingeniería mecánica . . . . .	145
A.5	Desempeño de los subcriterios de auditoría . . . . .	146
A.5.1	Organización General . . . . .	146
A.5.2	Monitoreo Financiero de mantenimiento y KPIS . . . . .	146
A.5.3	Tercerización de actividades de mantenimiento . . . . .	147
A.5.4	Modelos de Jerarquización basado en riesgos . . . . .	147
A.5.5	Talento Humano . . . . .	147
A.5.6	Procesos de programación, planificación y optimización de planes de mantenimiento . . . . .	148
A.5.7	Manejo de mantenimiento . . . . .	148
A.5.8	Ejecución de mantenimiento . . . . .	148
A.5.9	Manejo de inventario de bodega de repuestos . . . . .	149
A.6	Registro de hallazgos de auditoría . . . . .	150
A.7	Petición de auditoría . . . . .	153
A.8	Notificación de inicio de la auditoría . . . . .	154
A.8.1	Laboratorios del Área Mecánica de la Universidad Politécnica Salesiana . . . . .	154
A.9	Memorándum de auditoría . . . . .	155
A.10	Acta de cierre de auditoría . . . . .	156

**ANEXOS**

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 5.1	Factores que influyen en el tipo de activo . . . . .	8
Figura 5.2	Ciclo de vida de un activo físico . . . . .	10
Figura 5.3	Integración de los departamentos bajo la gestión de activos . . . . .	13
Figura 5.4	Sistema de mantenimiento y control de procesos . . . . .	14
Figura 5.5	Sistema de gestión integral . . . . .	15
Figura 5.6	Elementos de un sistema de Gestión de Activos . . . . .	16
Figura 5.7	Alcance de la gestión de activos . . . . .	17
Figura 5.8	Componentes generales de Gestión de la estrategia de Mantenimiento	24
Figura 5.9	Asignación de Recursos para una Gestión Eficaz . . . . .	24
Figura 5.10	Relación entre contexto de la organización, gestión de activos y procesos de mantenimiento . . . . .	27
Figura 5.11	Procesos de Mantenimiento bajo la gestión de Activos . . . . .	28
Figura 5.12	Tipos de Auditoría . . . . .	29
Figura 5.13	Flujo de procesos para la gestión de un programa de auditoría . . . . .	33
Figura 5.14	Resultados de una auditoría mediante el método del RADAR. . . . .	40
Figura 5.15	Diagrama de Pastel. . . . .	40
Figura 5.16	Gráfico de barras . . . . .	41
Figura 5.17	Estructura jerárquica de criterios y subcriterios . . . . .	43
Figura 5.18	Estructura general del ANP . . . . .	48
Figura 6.1	Marco esquemático del modelo de auditoría . . . . .	51
Figura 6.2	Marco esquemático del proceso ANP adaptado al caso de estudio	56
Figura 6.3	Modelo de red ANP para la priorización de criterios y subcriterios de auditoría a la gestión de mantenimiento . . . . .	58
Figura 6.4	Proceso de auditoría . . . . .	75
Figura 7.1	Gráfico de barras. Desempeño global . . . . .	87
Figura 7.2	Gráfico de líneas. Desempeño global . . . . .	88
Figura 7.3	Desempeño de los criterios de auditoría . . . . .	88
Figura 7.4	Diagrama de radar, representando el desempeño de los criterios de auditoría . . . . .	89
Figura 7.5	Puntuación Global . . . . .	90
Figura A.1	Campo laboral de desempeño . . . . .	128

Figura A.2	Tamaño de la empresa/institución. . . . .	128
Figura A.3	Nivel académico del encuestado . . . . .	128
Figura A.4	Años de experiencia laboral del encuestado . . . . .	129
Figura A.5	Conocimiento sobre gestión de mantenimiento . . . . .	129
Figura A.6	Criterio: Organización General . . . . .	146
Figura A.7	Criterio: Monitoreo Financiero de mantenimiento y KPIS . . . . .	146
Figura A.8	Criterio: Tercerización de actividades de mantenimiento . . . . .	147
Figura A.9	Criterio: Modelos de Jerarquización basado en riesgos . . . . .	147
Figura A.10	Criterio: Talento humano . . . . .	147
Figura A.11	Criterio: Procesos de programación, planificación y optimización de planes de mantenimiento . . . . .	148
Figura A.12	Criterio: Manejo de mantenimiento . . . . .	148
Figura A.13	Criterio: Ejecución de mantenimiento . . . . .	149
Figura A.14	Criterio: Manejo de inventario de bodega de repuestos . . . . .	149
Figura A.15	Evidencia: manual de los procesos de gestión, salud y medio ambiente	150
Figura A.16	Evidencia: control de los planes de mantenimiento . . . . .	150
Figura A.17	Evidencia: Matriz de insumos . . . . .	151
Figura A.18	Evidencia: Documentos de mantenimiento . . . . .	151
Figura A.19	Evidencia: Plan de mantenimiento de los laboratorios del área mecánica . . . . .	152
Figura A.20	Evidencia: Información sobre averías . . . . .	152

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 5.1	Breve Historia de la Gestión de Activos . . . . .	11
Tabla 5.2	Fundamentos del sistema de gestión de activos . . . . .	17
Tabla 5.3	Componentes de una gestión estratégica organizacional . . . . .	18
Tabla 5.4	Componentes de un plan estratégico de gestión de activos . . . . .	20
Tabla 5.5	Componentes de un plan de gestión de activos . . . . .	21
Tabla 5.6	Principios de auditoría basados en la ISO 19011:2018 . . . . .	31
Tabla 5.7	Diferencias entre programa de auditoría y plan de auditoría . . . . .	35
Tabla 5.8	Recolección de criterios de auditoría de mantenimiento . . . . .	36
Tabla 5.9	Categorías de los hallazgos de auditoría . . . . .	37
Tabla 5.10	Valoración de juicios . . . . .	44
Tabla 5.11	Valores de RI para matrices de diferentes órdenes . . . . .	45
Tabla 5.12	Estudios importantes sobre el uso del método ANP en aplicaciones del mantenimiento. . . . .	46
Tabla 5.13	Matriz de dominación interfactorial . . . . .	50
Tabla 6.1	Matriz de denominación interfactorial . . . . .	59
Tabla 6.2	Encuesta a expertos para la confección de las matrices de comparación pareada . . . . .	60
Tabla 6.3	Matriz de comparación pareada . . . . .	62
Tabla 6.4	Matriz normalizada . . . . .	62
Tabla 6.5	Matriz calculada . . . . .	63
Tabla 6.6	Relación de consistencia . . . . .	63
Tabla 6.7	Relación de consistencia . . . . .	64
Tabla 6.8	Matriz Original . . . . .	65
Tabla 6.9	Matriz Ponderada . . . . .	66
Tabla 6.10	Supermatriz Límite . . . . .	67
Tabla 6.11	Prioridades del problema de decisión . . . . .	68
Tabla 6.12	Matriz normalizada de criterios de auditoría . . . . .	69
Tabla 6.13	Pesos de los criterios y subcriterios . . . . .	70
Tabla 6.14	Niveles de exigencia . . . . .	72
Tabla 6.15	Niveles de conformidad, No conformidad, prioridad, semaforización	72
Tabla 6.16	Umbral de desempeño . . . . .	73

Tabla 6.17	Datos informativos de la organización . . . . .	74
Tabla 6.18	Laboratorios y secciones del área de mecánica . . . . .	76
Tabla 6.19	Equipo auditor . . . . .	77
Tabla 6.20	Programa de auditoría . . . . .	78
Tabla 6.21	Plan de auditoría . . . . .	79
Tabla 6.22	Descripción de los laboratorios a auditar . . . . .	80
Tabla 6.23	Acta de reunión de apertura de auditoría . . . . .	81
Tabla 6.24	Cronograma de actividades de auditoría . . . . .	82
Tabla 6.25	Instrumento de evaluación . . . . .	83
Tabla 6.26	Acta de reunión de cierre de auditoría . . . . .	86
Tabla 7.1	Valores de niveles de referencia . . . . .	87
Tabla 7.2	Desempeño de cada criterio . . . . .	89
Tabla 7.3	Informe final de auditoría . . . . .	91
Tabla 7.4	Documentación . . . . .	92
Tabla 7.5	Resumen de hallazgos . . . . .	93
Tabla 7.6	Plan de acción . . . . .	94
Tabla A.1	Preguntas . . . . .	126
Tabla A.2	Tabulación de resultados del criterio organización general. . . . .	129
Tabla A.3	Tabulación de resultados de los criterios encuesta A.1 . . . . .	130
Tabla A.4	Tabulación de resultados del criterio control financiero . . . . .	130
Tabla A.5	Tabulación de resultados del criterio tercerización . . . . .	130
Tabla A.6	Tabulación de resultados del criterio modelos de jerarquización . . . . .	131
Tabla A.7	Tabulación de resultados del criterio recursos humanos . . . . .	131
Tabla A.8	Tabulación de resultados del criterio procesos de programación, planificación y optimización de planes . . . . .	131
Tabla A.9	Tabulación de resultados manejo de mantenimiento . . . . .	132
Tabla A.10	Tabulación de resultados ejecución de mantenimiento . . . . .	132
Tabla A.11	Tabulación de resultados del criterio manejo de inventario . . . . .	132
Tabla A.12	Cálculo coeficiente Alpha de Cronbach . . . . .	133
Tabla A.13	Aplicación del instrumento de evaluación . . . . .	139
Tabla A.14	Umbral de desempeño final . . . . .	145

## LISTA DE ACRÓNIMOS

<b>AHP</b>	Analytic Hierarchy Process
<b>AMP</b>	Asset Management Plan
<b>ANP</b>	Analytic Network Process
<b>BSI</b>	British Standard Institute
<b>CI</b>	Consistency Index
<b>CR</b>	Consistency Ratio
<b>IAM</b>	Institute of Asset Management
<b>ISO</b>	International Organization for Standardization
<b>LCC</b>	Life Cycle Cost
<b>MCDM</b>	Multiple Criteria Decision Making
<b>PAS</b>	Publicly Available Specification
<b>PHVA</b>	Planificar, Hacer, Verificar, Actuar
<b>PEGA</b>	Plan Estratégico de Gestión de Activos
<b>PC</b>	Project Committee
<b>RI</b>	Random Index
<b>ROA</b>	Return On Assets
<b>TC</b>	Technical Committee
<b>TIR</b>	Tasa Interna de Retorno
<b>UNE</b>	Una Norma Española

## 1. TEMA

“Modelo de auditoría para la gestión de mantenimiento de activos físicos. Caso de estudio: Laboratorios del área mecánica de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca”

## 2. INTRODUCCIÓN

En la actualidad se toma en consideración las actividades de estímulo económico para el crecimiento industrial, sin embargo, el logro de los objetivos no se limita solo en la inversión de nuevas máquinas, equipos o a la compra de modernas tecnologías, sino que es indispensable utilizar efectivamente las instalaciones existentes, donde uno de los objetivos principales es establecer un servicio de mantenimiento efectivo, seguro y económico de los activos empresariales [1]. Por tal motivo, la maximización en el correcto uso de los activos conforme a una buena gestión de mantenimiento, garantizará un rendimiento óptimo de los equipos, disminuyendo fallas y estableciendo un grado de competitividad y de calidad en las organizaciones [2–4].

La auditoría es una herramienta de mejora continua que ha surgido como necesidad de control para evitar errores en procesos operacionales, financieros, administrativos, contables entre otros. El objetivo de la auditoría a la gestión de mantenimiento, está enfocada principalmente en conocer la situación actual en diferentes áreas, comparándolo con un modelo ideal [5, 6], contrastando los puntos que separan la realidad con el modelo. Los datos arrojados o hallazgos de la auditoría es una rica fuente de información para que la organización tome decisiones en base a las oportunidades de mejora, y de esta manera, materializar la consecución de los objetivos organizacionales propuestos [7, 8].

El objetivo del presente proyecto es proponer un modelo que posibilite a las organizaciones medir su gestión de mantenimiento, convirtiéndose en una herramienta de mejora continua para identificar y determinar los procesos o áreas en los que se debería corregir, o aquellos aspectos críticos en que es necesario un mayor control. Esto justifica la importancia de emplear modelos en base a la toma de decisiones, aplicada en su gran mayoría a la priorización o selección de alternativas en diversos casos de estudios como en el área de mantenimiento. La metodología ANP, ayuda a los gestores de mantenimiento a comprender las complejas relaciones que existen entre criterios y subcriterios de auditoría en función de un problema de decisión para cada nivel de la gestión empresarial [9].

### 3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 3.1. Antecedentes

Hoy en día, existe interés en medir el grado con que se manejan varios recursos, especialmente en la gestión de la función de mantenimiento; sin embargo, debido a la falta de regulación en cuanto a normas, criterios y procedimientos estandarizados, además de la limitada información, no ha sido posible materializar un modelo ideal de auditoría para la gestión de mantenimiento de activos físicos en entidades u organizaciones [10]. Básicamente no existe un modelo fijo para evaluar la gestión de mantenimiento; dado que varía según los objetivos, políticas y el contexto de cada empresa.

En 2007, Parida [11], realizó el trabajo denominado "Desarrollo de un marco jerárquico multicriterio para la medición del rendimiento del mantenimiento", que tiene por objetivo desarrollar una herramienta relevante, oportuna y confiable que permita medir el desempeño del mantenimiento, identificó tres niveles dentro de la organización: estratégico, táctico y operativo e integró múltiples criterios dentro de la jerarquización para la medición del desempeño del mantenimiento.

En 2014, Dumaguala [12] desarrolló el proyecto de titulación denominado: "Gestión e implementación del plan de mantenimiento en los laboratorios del área de ingeniería mecánica de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca", previo al proceso de gestión de mantenimiento preventivo, identificó diez laboratorios y un área de compresores, para luego realizar la planificación del mantenimiento preventivo para cada máquina, categorizando y asignando las diferentes tareas preventivas, para una posterior implementación de la gestión mediante el software de mantenimiento SisMac, en el cual se ingresó la información recopilada que permitió coordinar las fichas técnicas, registros de mantenimiento y repuestos en las distintas máquinas y equipos.

En 2015, Narváez y Zhigue [13] realizaron el proyecto de titulación denominado "Implementación de un plan de mantenimiento para los laboratorios de procesos y transformación de materiales del área de ingenierías de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca", con el objetivo de planificar un mantenimiento de tipo preventivo para los equipos y componentes de los laboratorios; mediante el estándar ISO 30300 se llevó a cabo una gestión documental, para una posterior implementación del software SisMAC, en el cual se ingresó la información obtenida, para de esta forma programar el mantenimiento de forma continua.

En 2015, Parra [14] realizó el proyecto de titulación denominado: “Diagnóstico de la gestión de mantenimiento y diseño de plan de mejora para la gestión de mantenimiento de los activos, aplicado a la unidad educativa particular Hermano Miguel de la Salle”, enfocado en la identificación de oportunidades de mejora para una posterior implementación de acciones que permitan alcanzar niveles de eficiencia; donde estableció finalmente una metodología para el sistema de gestión, basada en criterios de evaluación de distintas normas internacionales.

En 2017, Díaz *et al.* [15], realizaron el trabajo denominado “Instrumento para evaluar el estado de la gestión de mantenimiento en plantas de bioproductos: Un caso de estudio”, en su trabajo propusieron el diseño de un instrumento tipo encuesta, establecieron puntuaciones de acuerdo a la escala de Likert y los indicadores evaluados fueron: estructura organizativa, servicios de mantenimiento, recursos humanos, producción, economía, logística, equipamiento y estrategias; la investigación concluyó que el estado de la gestión de mantenimiento de la planta de bioproductos era insatisfactoria.

En 2017, Herrera y Martínez [16] realizaron el trabajo denominado “Auditoría de gestión aplicada al departamento de mantenimiento en instalaciones hospitalarias” con el objetivo de evaluar el desempeño de la gestión de mantenimiento. Su metodología se basó en una técnica de recolección de datos mediante encuestas dirigidas a directivos y trabajadores del centro y como herramientas de control emplearon el diagrama de Ishikawa y tormenta de ideas. La auditoría evidenció que el área más crítica es la de recursos humanos.

En 2019, Rodríguez *et al.* [17], presentaron el proyecto denominado: “Metodología por criterios de diagnóstico para la gestión de mantenimiento”, antes de materializar la auditoría, realizaron un análisis de diversas herramientas para su diseño; obtuvieron una metodología que consta de una lista de chequeo del tipo cuantitativa, distribuida en áreas funcionales, dimensiones y criterios de diagnóstico, misma que fue aplicada en el área de transporte de una universidad ecuatoriana. Esta metodología es fácil de contextualizar a cualquier campo de la ingeniería de mantenimiento.

En 2019, Viscaíno *et al.* [18] presentaron el trabajo denominado “Evaluación de la gestión del mantenimiento en hospitales del Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social de la Zona 3 del Ecuador”, con el objetivo de obtener una valoración cuantitativa de la gestión del mantenimiento; la metodología empleada constó de cinco fases y se desarrolló un instrumento de evaluación que fue validado en cuatro hospitales, dando como resultado la identificación de aspectos con bajo desempeño.

En 2019, Chang [19], presentó el proyecto de titulación denominado: “Elaboración de un modelo de auditoría para evaluar la gestión de mantenimiento de activos físicos en base a normativas internacionales aplicado a la industria Unión Cementera nacional, planta Chimborazo” en el que estableció un modelo de auditoría basado en distintas normas internacionales, para lo cual realizó una recopilación de diversos criterios teóricos que le permitieron desarrollar un proceso de evaluación a la gestión de mantenimiento mediante la aplicación de una auditoría basada en los lineamientos planteados por la filosofía del círculo de calidad, se evaluaron los diferentes hallazgos obtenidos en este proceso y se emitió un diagnóstico final de la gestión de mantenimiento en la empresa, de esta forma se elaboró una herramienta generalizada para ser aplicada a cualquier tipo de organización.

En 2020, Shahaji y Akarte [20], realizaron el trabajo denominado: “Evaluación comparativa del rendimiento de mantenimiento de industrias agrícolas”, su trabajo inició con un proceso de revisión de literatura para recolectar las prácticas de mantenimiento (criterios) relevantes; identificaron seis áreas de gestión de mantenimiento a las que denominaron criterios de grupo, luego con la metodología multicriterio AHP estos criterios fueron estructurados de forma jerárquica en tres niveles, ésta información fue organizada dentro de un cuestionario que posteriormente fue evaluado por 118 ejecutivos de fábricas, como resultado se identificó que cada fábrica concebía de forma diferente las prácticas de mantenimiento, consecuentemente existían áreas con menor rendimiento de mantenimiento.

En 2021, Salas y Losada [21], realizaron el trabajo denominado “Métodos formales usados en la auditoría de gestión de mantenimiento”, su objetivo fue realizar una revisión documental en torno a la Auditoría de Gestión de Mantenimiento, la metodología empleada fue de tipo documental-descriptiva, como resultado encontraron que la Auditoría de Gestión de Mantenimiento utiliza dos procedimientos de aceptación/aplicación: el Método Americano (Radar de Mantenimiento) y el Método Inglés (Cuestionario), mismos que son válidos y confiables para alcanzar resultados precisos sobre el estado real de todos los indicadores que conforman la Gestión de Mantenimiento.

### **3.2. Importancia y alcance**

En el entorno industrial que nos desarrollamos, las auditorías a la gestión de mantenimiento, son poco comunes. Sin embargo, con su aplicación es posible obtener

información de importancia elevada, el análisis retrospectivo del estado de una área o departamento, permite a la alta gerencia tomar decisiones de mejora continua para los procesos o actividades que se realizan.

Es así que el presente proyecto técnico impulsa la realización de auditorías a la gestión de mantenimiento, con el fin primordial de orientar a instituciones o empresas acerca de la correcta asignación de recursos para áreas o departamentos que tras la evaluación evidencien que requieren especial atención para mejorar los procesos que desarrollen.

### **3.3. Delimitación**

Con la aplicación del modelo de auditoría para la gestión de mantenimiento a los laboratorios de ensayos destructivos y centro de mecanizado CNC, se espera que las evaluaciones emitidas, permitan tomar decisiones para implementar a futuro un sistema de gestión de mantenimiento en los laboratorios del área mecánica, además que estas evaluaciones sean realizadas con una frecuencia definida.

El Grupo de Investigación y Desarrollo de Tecnologías Industriales (GIDTEC) se encargará de la realización de trabajos futuros con miras a implementar el modelo de auditoría en industrias que requieran evaluar el estado de su gestión de mantenimiento.

### **3.4. Problema general**

El mantenimiento bajo el enfoque de la gestión de activos ha ido asumiendo cada vez un rol más significativo en la actividad industrial, de manera que se provocan cambios a nivel gerencial, mismos que ocurren debido a la competitividad de los negocios y la globalización de los mercados, por lo que el papel del mantenimiento dentro de las empresas debe asegurar la disponibilidad y confiabilidad de las diferentes instalaciones y de los equipos industriales [22].

La gestión de activos físicos dentro de las organizaciones se ve obstaculizada por cuanto no se realiza una adecuada identificación de las áreas de inversión de recursos que permitan obtener un retorno mayor de la misma, disminuyendo las pérdidas y aumentando la eficiencia en el mantenimiento de los activos [23]. La auditoría de la gestión, en la actualidad se configura como una de las herramientas esenciales que permite a la alta dirección de la organización guiar las actividades para la consecución de sus objetivos con el aprovechamiento óptimo de los recursos de la organización.

En las empresas, la auditoría a la gestión del mantenimiento de activos físicos no es obligatoria, pero es altamente recomendable debido a que permite obtener información de los procesos más críticos; posibilitando la buena toma de decisiones que permitan racionalizar los recursos de mejor forma [19]. Por lo expuesto anteriormente se plantea la siguiente interrogante como problema general de la investigación:

- ¿Es posible desarrollar un modelo de auditoría para la gestión de mantenimiento de activos físicos, caso de estudio: laboratorios del área mecánica de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca?

### 3.5. Problemas Específicos

- ¿Cuáles son los criterios y subcriterios de auditoría para la evaluación de la gestión de mantenimiento?
- ¿Es posible priorizar los criterios y subcriterios de auditoría, mediante la aplicación del proceso analítico en red ANP?
- ¿Es posible elaborar un instrumento de evaluación para la gestión de mantenimiento?
- ¿Es posible validar el modelo de auditoría, a través de la evaluación de los laboratorios del área mecánica de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca?

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1. Objetivo General**

- Desarrollar un modelo de auditoría para la gestión de mantenimiento de activos físicos. Caso de estudio: laboratorios del área Mecánica de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca.

### **4.2. Objetivos Específicos**

- Seleccionar los criterios y subcriterios de auditoría, para la evaluación de la gestión de mantenimiento.
- Priorizar los criterios y subcriterios de auditoría, mediante el método ANP.
- Elaborar el instrumento de evaluación para la gestión de mantenimiento.
- Validar el modelo de auditoría, a través de la evaluación del caso de estudio: laboratorios del área Mecánica de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca.

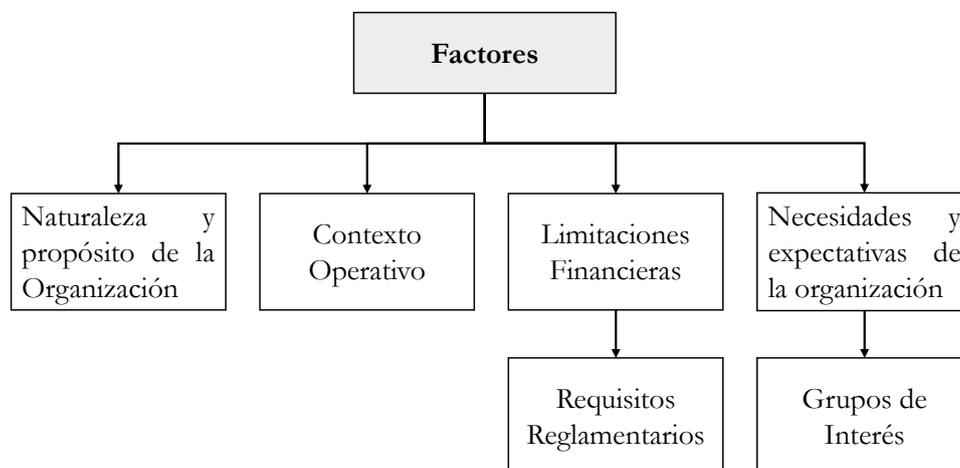
## 5. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

### 5.1. Activo Físico

Según la norma ISO 55000:2014 [24], un activo “Corresponde a cualquier cosa con valor real o potencial que posee una organización y genera valor por medio de ellos”, los tipos de activos que generalmente se encuentran en las organizaciones son las siguientes:

- Activos físicos o reales
- Activos financieros
- Activos humanos
- Activos de información
- Activos intangibles

Los activos industriales tienen un valor inherente debido a sus atributos físicos [25], algunos de ellos incluyen bienes raíces, metales preciosos, materias primas, equipos, maquinarias, tuberías, cables, ferrocarriles, aviones y vehículos [3,4,26,27]. En particular, los activos físicos son elementos importantes que ofrecen un gran valor tangible a una organización [28], donde la definición y medida de valor que generarán dichos activos físicos estarán definidos significativamente según el servicio requerido, satisfacción de necesidades y los recursos usados para tal propósito [29,30]. Las organizaciones incorporan activos industriales como elementos valiosos que impulsan el crecimiento y mejoran el desempeño financiero [31], posibilitando el mayor retorno de la inversión y la máxima productividad durante todo su ciclo de vida [32]. Los activos serán determinados acorde a los objetivos estratégicos de la organización, y a diversos factores que influyen en el tipo de activo que se requiere [24], como se presenta en la Figura 5.1.



**Figura 5.1:** Factores que influyen en el tipo de activo físico. **Fuente:** Adaptado de: [24].

### 5.1.1. Ciclo de Vida

La competitividad y sostenibilidad de una organización dependen en gran parte del desempeño y el costo del ciclo de vida de sus activos físicos, lo que implica tener un equilibrio entre disponibilidad y confiabilidad de activos [33]. Se debe tomar decisiones de optimización del activo físico a lo largo de todo su ciclo de vida, con el objetivo de que el activo en cualquier proceso productivo, permita maximizar la rentabilidad de la organización.

El ciclo de vida de un activo tangible o intangible, es un enfoque de desarrollo u holístico, e inicia desde el momento en que la organización desea realizar una actividad, la cual involucrará activos para su desarrollo, tomando en consideración los problemas que afectan al activo en diferentes etapas de su vida hasta su disposición final [34]. El ciclo de vida del activo físico está asociado con el costo del ciclo de vida, el cual es la sumatoria de todos los costos asignados al activo ya sea costo directo, indirecto, variable o fijo. En la Figura 5.2, se observa las fases del ciclo de vida de un activo físico, partiendo desde la estrategia de organizacional, sus diferentes momentos que lo caracterizan, y que le permiten establecer fronteras desde su diseño hasta acabar con la retirada o desincorporación.

- **Fase 1: Diseño**

Durante esta fase se definen los requerimientos y las especificaciones del activo requerido, además se deben considerar todas aquellas actividades necesarias para garantizar la funcionalidad del mismo.

- **Fase 2: Creación o adquisición**

En esta fase se realiza una planificación que involucre un análisis de costos de ciclo de vida, métodos de instalación a ser empleados y todo lo relacionado con fallas y averías [35].

- **Fase 3: Instalación y puesta en servicio**

Durante esta fase, se pone en marcha el proceso de arranque del activo, en donde se involucran actividades de logística, construcción, e instalación, finalizando con la puesta en servicio [36].

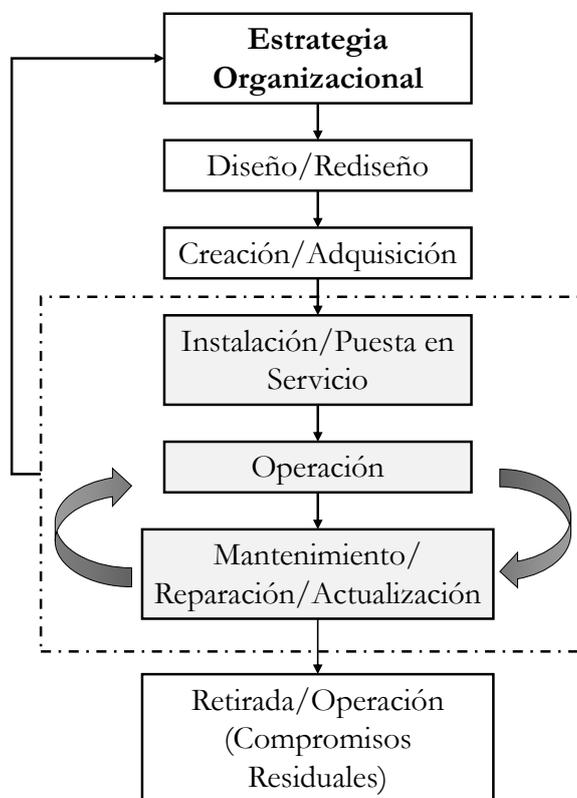
- **Fase 4: Operación y mantenimiento**

Las fases de operación y mantenimiento asocian las tareas de gestión de ingeniería, labores de mantenimiento, monitoreo y soporte de los activos durante toda su vida operacional

[37], dentro de esta fase, algunas organizaciones informan que hasta el 70% del costo total de propiedad de un activo se consume en esta etapa [38].

#### ■ Fase 5: Retirada o enajenación

En esta fase se retira el activo o se genera la necesidad de un reemplazo, con el fin de respaldar la prestación continua de un servicio, además durante esta fase se calcula el ciclo de vida final del activo y se registran los valores de confiabilidad y mantenibilidad que servirán como parámetros referenciales para activos similares que puedan ser usados a futuro [23,37]. Las decisiones de enajenar un activo requieren una evaluación económica, una evaluación medio ambiental y un examen minucioso cuando los activos tienen un rendimiento inferior [34].



**Figura 5.2:** Vista simplificada del ciclo de vida de los activos de ingeniería. **Fuente:** Adaptado de: [38]

Cada una de las etapas del ciclo de vida de un activo físico implica actividades tales como: decisiones a tomar, información a seguir, costos a evaluar, repuestos a definir y capacitación de operadores, estos análisis hacen referencia a distintos aspectos de la operación y mantenimiento del activo. Al considerar estos factores, a la organización le permitirá maximizar el retorno de los activos (ROA), la tasa interna de retorno (TIR) y minimizar el costo de ciclo de vida (LCC) [39].

## 5.2. Gestión de Activos

### 5.2.1. Antecedentes históricos

Para comprender los inicios de la gestión de activos, es necesario conocer su desarrollo histórico. En la Tabla 5.1, se describe la transición existente de las etapas que tuvieron lugar en torno al establecimiento de estándares y normas para la gestión de activos. Su objetivo fue generalizar su aplicación para el sector industrial, a través de institutos y comités encargados.

**Tabla 5.1:** Breve Historia de la gestión de activos. **Fuente:** [27, 40–44].

Año	Lugar/Institución	Descripción
1970	British Standards Institution (BSI)	Se elabora un estudio del concepto de la Gestión de Activos. En el sector de la construcción Civil surge el concepto de ingeniería de mantenimiento, que relaciona la tecnología y la economía para incrementar la confiabilidad y la de los activos.
Inicios Años 80	Nivel mundial	Aparecimiento de la crisis industrial que obligó a la reducción de los costos.
1990	EEUU	Creación de la "North American Maintenance Award", cuyo objetivo principal es impulsar la calidad y el uso de las mejores prácticas aplicadas al mantenimiento.
1993	Reino Unido	Creación del Instituto de gestión de activos: "Institute of Asset Management" "IAM"
1998	Grupo de Empresas del Reino Unido	Se plantea la necesidad de establecer bases sólidas para la Gestión de Activos.
2003	Reino Unido	Se establece el comité Británico de Estandarización en gestión de activos (British Standard Asset Management).
2004	British Standards Institution	Se publica un documento conocido como PAS-55, el cual no fue considerado oficialmente como un Estándar Británico; para dar respuesta a las organizaciones sobre la gestión de activos y su aplicación.
2008	British Standards Institution e Institute of Asset Management	Se publican especificaciones actualizadas para el documento PAS-55:2008 en el que se definen un conjunto de 28 puntos o requisitos que debe tener un sistema de gestión de activos, sin embargo, este documento aún no lograba un consenso oficial para ser usado como una norma.
2010	ISO/TC 251	Se forma un comité para la creación de la Estándar ISO 55000, para la Gestión de activos basado en el documento de la PAS-55:2008.

Año	Lugar/Institución	Descripción
<b>Enero 2014</b>	ISO/TC 251	Presentación oficial de la propuesta de la familia ISO 5500x compuesta por ISO 55000, ISO 55001, ISO 55002.
<b>Noviemb 2014</b>	Comité técnico CEN/TC 319	El European Committee for Standardization (CEN), aprueba la norma EN 16646:2014, que se ocupa de establecer el rol del mantenimiento dentro de la empresa en relación con la gestión de activos
<b>Noviemb 2018</b>	Comité técnico ISO/TC 251	Publicación y Actualización a la Norma ISO 55002:2018, esta segunda edición anula y sustituye a la primera edición de la (ISO 55002:2014), que ha sido revisada técnicamente para mejorar la orientación sobre el desarrollo y la aplicación de un sistema de gestión de activos basado en la ISO 55001:2014.
<b>Diciemb 2020</b>	Comité técnico ISO/TC 251	Cierre de proceso de revisión de las normas ISO 55001:2014 e ISO 55000:2014.
<b>Marzo 2021</b>	Comité técnico ISO/TC 251	Cierre de proceso de revisión de las normas ISO 55001:2014.

### 5.2.2. Generalidades

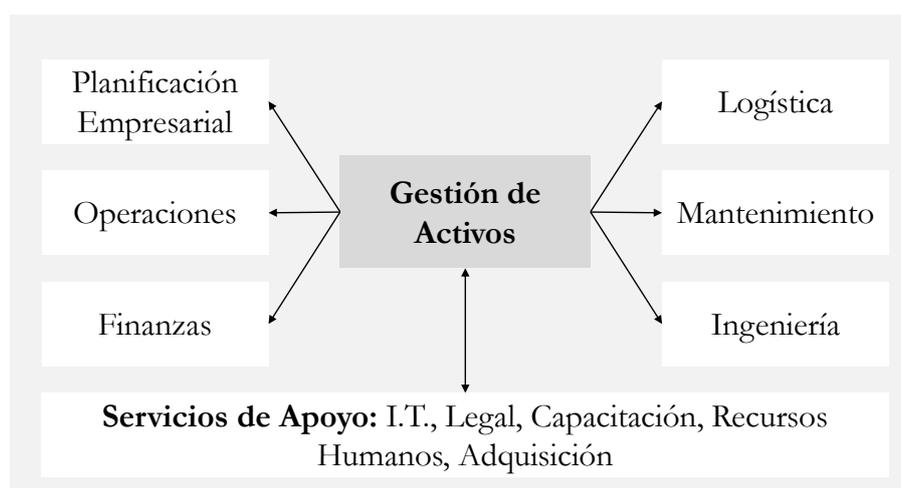
Los sistemas y equipos en cualquier proceso productivo, deben funcionar a niveles que les permita competir tanto a nivel nacional como internacional, para ello es indispensable cumplir con requisitos que aumenten la calidad del producto, reduzcan el tiempo de producción y contribuyan en la mejora de la eficiencia operativa, en un entorno de demanda de clientes cuyas exigencias cambian rápidamente; es así, que se exige un alto rendimiento en todos los procesos y sus interacciones dentro de la gestión de activos.

La gestión de activos es un modelo de negocio, basado en un enfoque de tipo estratégico; para ello, deben alinearse varias áreas esenciales que aporten un valor fundamental en la organización tales como: operaciones, mantenimiento y decisiones de inversión de capital [45]. La gestión de activos se encarga de aplicar el criterio técnico - financiero bajo el marco de referencia de la familia ISO 55000 [24], el cual define a la gestión de activos como una “Actividad coordinada de una organización para obtener valor a partir de los activos”, cada actividad implicará un uso y cuidado continuo de los activos de manera rentable en todo su ciclo de vida, con el fin de lograr de manera sostenible los objetivos establecidos por la organización [39,46] mediante decisiones, planes y actividades técnicas y financieras.

La idea de gestión de activos ha estado en constante evolución, involucrándose de forma directa con aquellas organizaciones que operan y/o poseen cualquier tipo de activo [38],

dentro de este contexto, las organizaciones han comenzado a identificar la importancia de la gestión de activos como una estrategia, que, aplicada correctamente generará una mejora continua del negocio y la confiabilidad asociada al manejo de los activos [43]. La gestión de activos no se centra en el propio activo, sino en el valor que puede proporcionar [47, 48], dentro de los estándares definidos por el fabricante, bajo el menor costo y riesgo posible para la organización [49]; del mismo modo, posee retos que incluyen la mejora de la productividad, reducción del coste total, soporte a la cadena de suministro, y por supuesto, la maximización de su valor mediante la administración de todo el ciclo de vida de los activos, extendiendo su vida útil [50, 51].

La gestión de activos físicos no corresponde a un área o una parte de la organización, sino que, abarca o involucra a los distintos departamentos del negocio [52], bajo un mismo objetivo, maximizar el valor de los activos a lo largo de su ciclo de vida, tal como se presenta en la Figura 5.3 [19, 53].



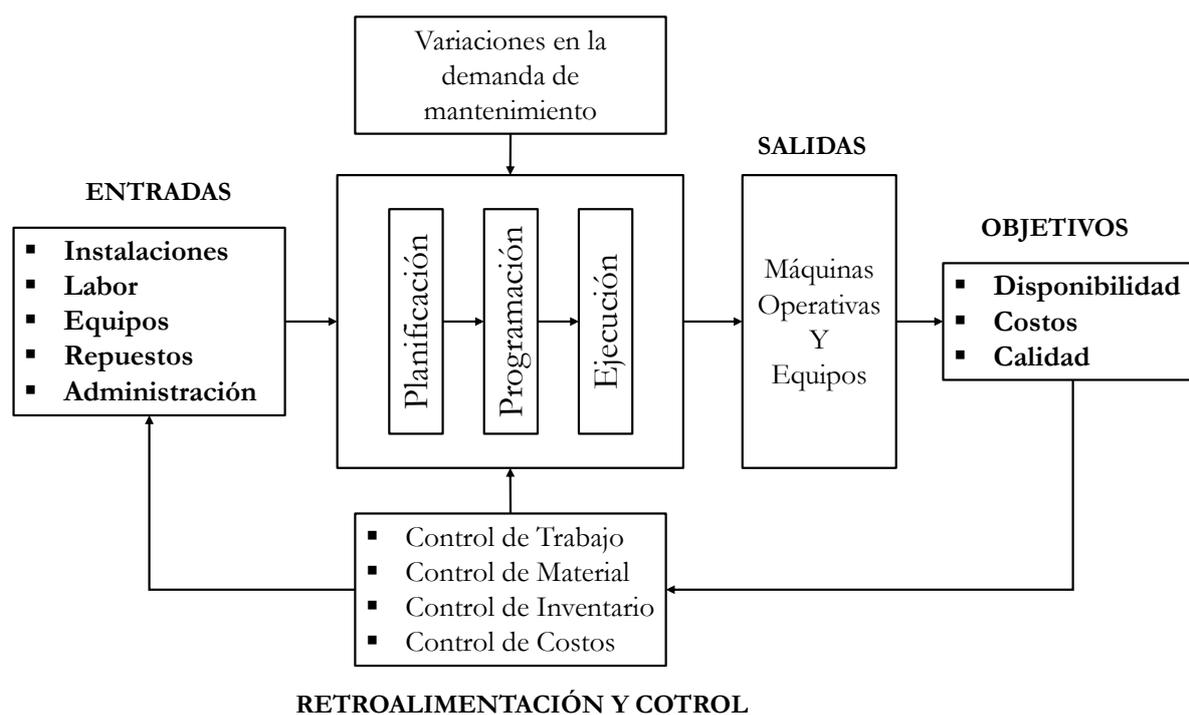
**Figura 5.3:** Departamentos que conforman la gestión de activos. **Fuente:** Autores

Alcanzar una gestión efectiva, involucra un balance entre estos departamentos y una adecuada alineación entre los objetivos organizacionales y el contexto operacional de la organización [54], lo que proporciona los siguientes beneficios: un enfoque sistemático de las decisiones basadas en activos, de modo que los requisitos de activos, la adquisición y la eliminación coincidan con los objetivos del negocio; soporte logístico adecuado durante el ciclo de vida de los activos, creando mejoras en el rendimiento de los activos y procesos internos eficaces para la gestión de activos; beneficios en el cumplimiento de los objetivos comerciales y regulatorios, incluyendo objetivos operativos, objetivos financieros, regulaciones ambientales, normas de salud y seguridad, requisitos de seguro, gestión de riesgos [4, 55].

### 5.3. Sistema de gestión

Actualmente las industrias se desenvuelven en un entorno globalizado, activo y muy competitivo, es por ello que desde la alta dirección se deben tomar decisiones estratégicas que les permita ser eficientes en el manejo de los recursos, procesos productivos y administrativos dentro de la organización.

Una definición general de “Sistema”, es entendido como un conjunto de elementos que se relacionan con al menos otro componente e interaccionan entre sí con un objetivo [56]. Un sistema en el contexto del mantenimiento es considerado como un proceso de entradas y salidas, con funciones claves y procesos de control, como se presenta en la Figura 5.4. Las entradas corresponden a la mano de obra, equipos fallidos, materiales, repuestos, herramientas, información, políticas y procedimientos, y las salidas son los equipos activos, confiables y bien configurados indispensables para lograr la operación planificada de la industria [57, p. 93].



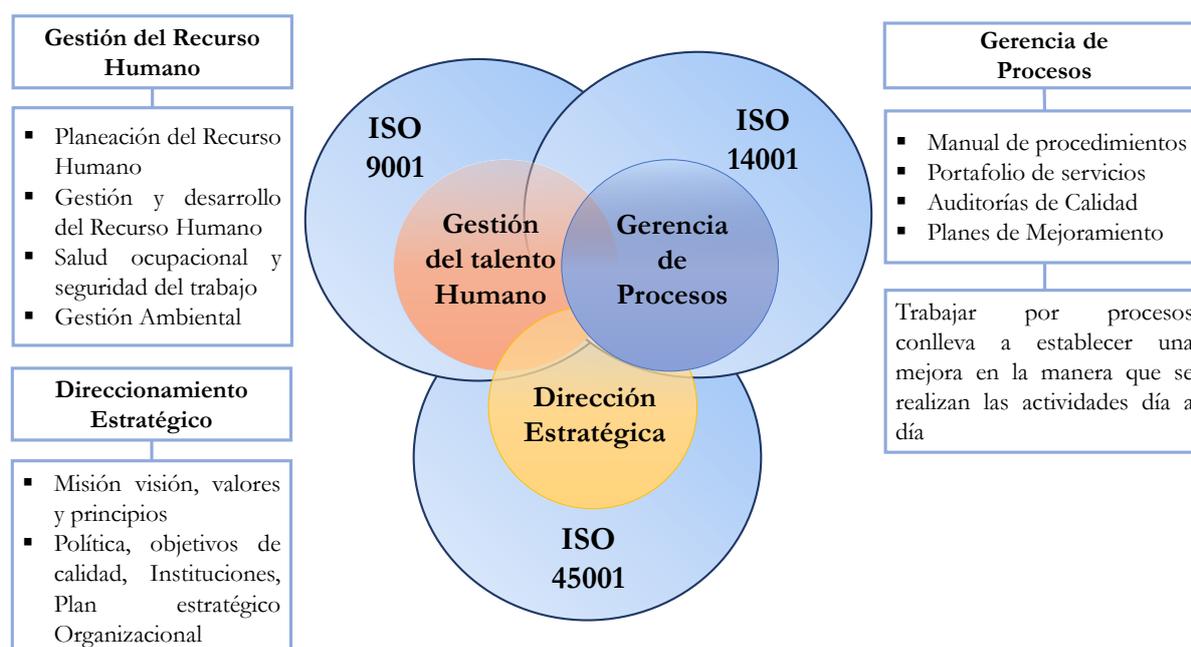
**Figura 5.4:** Sistema de mantenimiento y control de procesos. **Fuente:** [57, p. 94].

Según la norma internacional ISO 9000:2015 [58], expresa que un sistema de gestión es el “Conjunto de elementos de una organización interrelacionados o que interactúan entre sí para establecer políticas, objetivos y procesos para lograr estos objetivos”. Un sistema de gestión surge desde el momento en que la organización sienta la necesidad de realizar una transformación en base a los objetivos que quiere lograr, para lo cual, es necesario que

todas las áreas, actividades y operaciones interactúen de forma ordenada, es decir, una gestión sistematizada [19]. Un sistema de gestión no es más que una guía en el cual explica la gestión del día a día de la organización; el sistema detalla la estructura organizativa de la empresa, los procesos y procedimientos clave del negocio [59].

Dentro de la estrategia empresarial actual, existe la tendencia creciente de integración de varios sistemas de gestión en las empresas entre las cuales destacan calidad, medio ambiente, bienestar y salud ocupacional, lo que es equivalente a un sistema de gestión integral [60,61], tal como se presenta en la Figura 5.5.

Para lograr la integración adecuada de un sistema de gestión integral, esta dependerá de varios factores como el compromiso de la dirección, conocimiento de los requisitos por parte del personal y una adecuada planificación a nivel organizacional [62]. Por consiguiente, al implementar un sistema de gestión integral, las organizaciones podrán gestionar sus procesos, proporcionando productos y servicios de mayor calidad, asegurando la preservación del medio ambiente, salud y seguridad de los trabajadores [63].



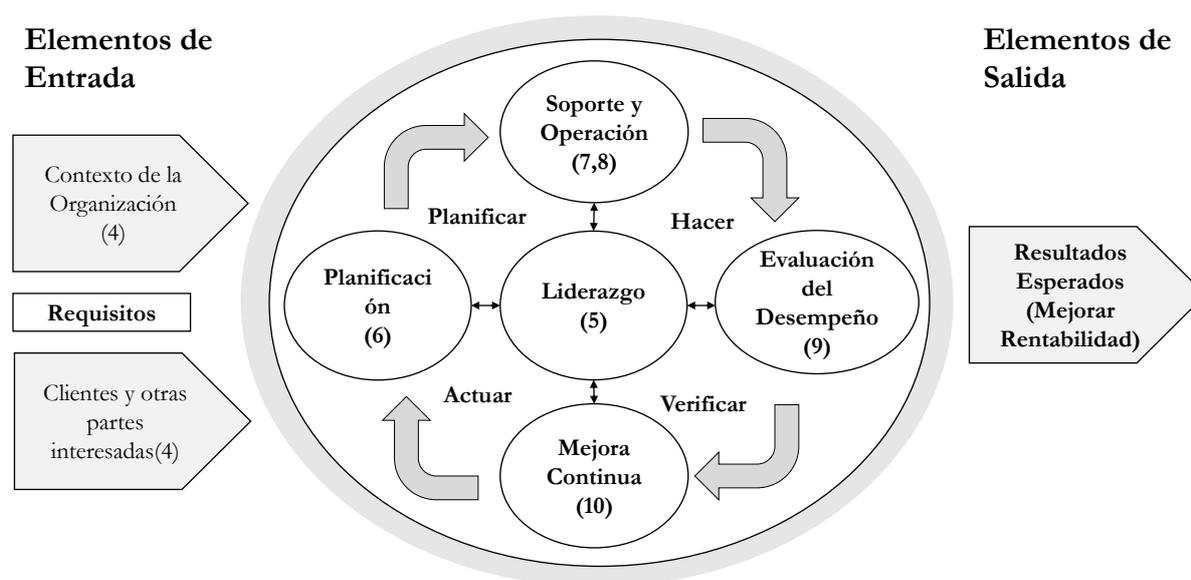
**Figura 5.5:** Sistema de gestión integral. **Fuente:** Adaptado de [60].

Dentro de este sistema, se ubican algunos elementos como la dirección estratégica, gestión de talento humano y gerencia de procesos; aprovechar estos elementos comunes de todos los sistemas, facilitará la obtención de resultados [64], permitiendo a la organización desempeñarse en actividades estratégicas con altos niveles de eficiencia, que le permita dar respuesta efectiva a los diferentes cambios del entorno y retos que demanda la sociedad en términos de productos y servicios que satisfagan sus necesidades y expectativas [65].

### 5.3.1. Sistema de gestión de activos y el contexto de organización

De acuerdo con la norma ISO 55000:2014 [24], un sistema de gestión de activos es “Un conjunto de elementos o actividades que interactúan entre sí, con el propósito de establecer políticas, objetivos de la gestión de activos y los procesos indispensables para alcanzar los objetivos previamente establecidos”. El término sistema de gestión de activos bajo la ISO 55001, delimita a un sistema de gestión para la administración de activos; sin embargo, no establece como se debe hacer la gestión de activos, ni buenas, ni mejores prácticas.

La norma ISO 55001:2014 [66], indica que cada empresa debe gestionar y mejorar de forma continua cada proceso o área funcional con el objetivo de mejorar su rentabilidad, por esta razón implementan un sistema de gestión con el propósito de orientar las actividades y los recursos de la gestión de activos, y ejecutan un plan organizacional con un enfoque estructurado y de mejores prácticas para gestionar el ciclo de vida de los activos [67], en especial aquellos activos que cumplen un rol importante y son vitales para los propósitos de la organización [27]. Para aquellas organizaciones que buscan la ruta de la certificación de su sistema de gestión de activos, el cumplimiento de ciertos requisitos es indispensable, de entre los que se destaca debido a su importancia la definición del Plan Estratégico de Gestión de Activos “PEGA” (ver Párrafo 5.3.2.1) [68]; los beneficios de la certificación compensan los costos [69,70] del proceso de auditoría para la certificación. La Figura 5.6, señala los requisitos que deben ser considerados al momento de implementar un sistema de gestión de activos en base al estándar ISO 55001, y para asegurar que el sistema y cada uno de los procesos se ejecuten puede gestionarse utilizando la metodología PHVA.



**Figura 5.6:** Elementos de un sistema de gestión de activos. **Fuente:** Adaptado de [71].

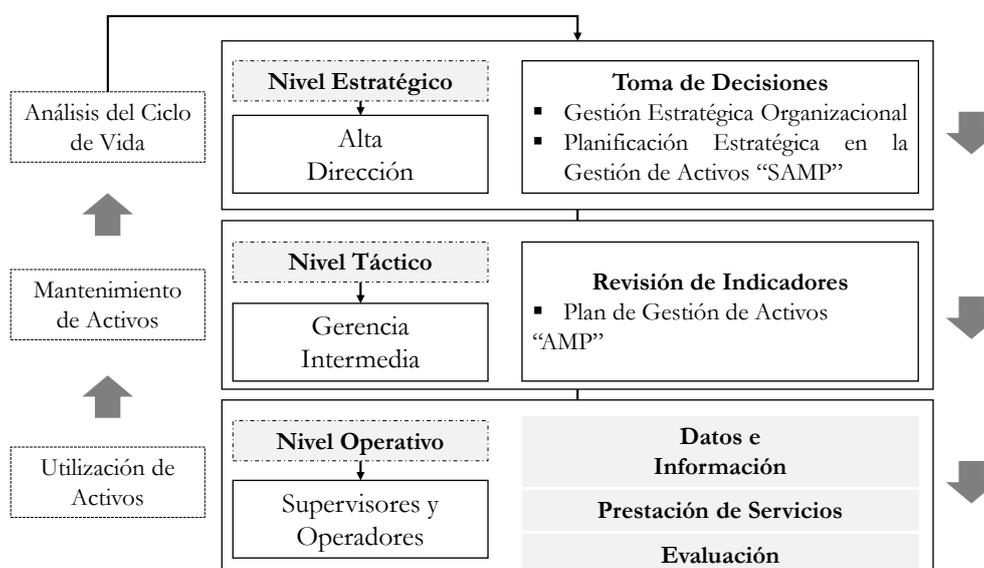
Existen principios que a nivel mundial se están extendiendo y permite alinear y dirigir a una organización de un punto a otro [72], y es la base para que se direccionen los objetivos organizacionales, tal como se presenta en la Tabla 5.2.

**Tabla 5.2:** Fundamentos del sistema de gestión de activos. **Fuente:** [73]

<b>Valor</b>	Los activos tienen que proporcionar valor a la organización.
<b>Alineación</b>	La gestión de activos traduce los objetivos organizacionales en decisiones técnicas y financieras, planes y actividades; para ello, se debe alinear la parte estratégica con la parte táctica y la parte operativa.
<b>Liderazgo</b>	El liderazgo y el compromiso de todos los niveles gerenciales es esencial para establecer, operar y mejorar exitosamente la gestión de activos.
<b>Aseguramiento</b>	La Gestión de activos asegura que los activos cumplirán con los objetivos propuestos en la etapa de planificación.

### 5.3.2. Alcance de los niveles de gestión de activos

La gestión eficaz de activos inicia desde que se establecen las políticas de la gestión de activos, basándose en las necesidades de las partes interesadas, y en requisitos reglamentarios y legales [74], posteriormente se requiere de la participación de todos los niveles de la organización, en el cual, se combinan actividades y prácticas de gestión, financieras, económicas o de otro tipo [75]. Estos niveles por lo general son considerados por la mayoría de empresas [11] y deben estar alineados a los objetivos organizacionales [76] tal como se presenta en la Figura 5.7.



**Figura 5.7:** Alcance de la gestión de activos. **Fuente:** Adaptado de [11, 77].

### 5.3.2.1. Nivel Estratégico

La estrategia de gestión de activos inicia identificando un plan general de la organización para el logro de los objetivos y el despliegue de los recursos a largo plazo [78, 79], previamente se debe comprender las necesidades de la organización, e identificar los grupos de interés pertinentes, para la creación de valor [80] en base a los objetivos comerciales para entregar bienes y servicios de manera confiable [81].

#### ■ Gestión estratégica organizacional

La gestión estratégica es el procedimiento de establecer una dirección para las actividades comerciales mediante la evaluación de los objetivos presentes y futuros [82]. Pensar estratégicamente requiere investigación, análisis y previsión para crear un plan de cómo proceder como organización [83]; por lo tanto, para superar a los competidores, una organización debe desarrollar estrategias idóneas para mantenerse al día y prosperar en un entorno cambiante [84, 85]. Las estrategias direccionan y definen el plan organizacional para la consecución de los objetivos [86], para ello es fundamental que la estrategia y los objetivos corporativos de la organización se conviertan en objetivos específicos en los diferentes niveles de la organización [87], con un objetivo clave, crear valor para sus grupos de interés mediante un uso eficaz de sus activos [80]. En la Tabla 5.3 se muestra los principales componentes de la gestión estratégica organizacional.

**Tabla 5.3:** Componentes de una gestión estratégica organizacional. **Fuente:** [88–93]

<b>Gobierno</b>	Conjunto de leyes, políticas y procedimientos. El gobierno corporativo garantiza que la organización trabaje en función de las partes interesadas y que los recursos se administren de mejor manera para maximizar el desempeño, la productividad y el valor de los activos.
<b>Política Corporativa</b>	Conjunto documentado en donde constan directrices generales como la misión y visión del negocio y diversos factores que pueden afectar de manera positiva o negativa a los objetivos de la organización.
<b>Visión y Misión</b>	La misión es la razón de ser de una empresa, mientras que la visión expresa lo que la organización quiere ser en el futuro y el nivel que desea alcanzar.
<b>Declaración de Misión y Visión</b>	La declaración de misión es una guía para las actividades de una empresa y su toma de decisiones, ayuda a planificar tácticamente asociando los recursos necesarios en torno a un objetivo a mediano o largo plazo. Una declaración de visión enumera lo que la empresa quiere hacer o quiere estar en un futuro.

Allison & Kaye [94], definen un plan estratégico a nivel corporativo como: “El mecanismo mediante el cual una organización determina su visión, estrategias y toma de decisiones sobre los recursos para respaldar esas estrategias” previamente establecidas. La definición de una nueva estrategia por parte de la organización puede permitirle mejorar su desempeño o retroceder mediante el uso de la planificación estratégica corporativa [95], que por definición es un plan a largo plazo basado en una visión que se puede desempeñar a nivel funcional, empresarial y a nivel corporativo [96]. Contar con un plan estratégico, posibilitará la alineación desde el gobierno corporativo, hacia la organización conectando así la estrategia del negocio, con los niveles tácticos y operativos [97].

El mantenimiento es la función que más se incluye en este nivel de negocio, y cada vez se está convirtiendo en una parte esencial en el contexto de la planificación estratégica a largo plazo, integrando aspectos técnicos y comerciales, como también aspectos sociopolíticos y ambientales [96]. En la estrategia de mantenimiento se busca la perfecta combinación de los tipos de mantenimiento a largo plazo para monitorear aquellos activos físicos.

#### ▪ **Planificación estratégica en la gestión de Activos**

La planificación estratégica en la gestión de activos es una actividad destinada a planificar la dirección de políticas para lograr una gestión óptima de los activos y mejorar el rendimiento de la gestión de activos [98]. La de gestión de activos debe estar alineada con los objetivos estratégicos de la organización y provenir de ellos para garantizar una gestión fluida y eficaz de los activos y la prestación de servicios de la empresa [99]. Además, se establecen los requisitos, que buscan a nivel estratégico alinear el mantenimiento con la gestión de activos para derivar en aspectos tácticos y operativos de mantenimiento.

Lo primero que se exige tanto a los propietarios como a los operadores en cualquier sector industrial, es tener un Plan Estratégico de Gestión de Activos “PEGA”, dentro del mismo, deben estar los objetivos de gestión de activos que traduzcan a los objetivos del negocio, que por lo general están alineados a las políticas corporativas de gestión de activos y también al enfoque para la elaboración del plan de gestión de activos.

El PEGA no solamente implica un tema de documento, sino que debe definir el método y los criterios que la organización debe emplear para tomar decisiones sobre sus activos, estos criterios deben estar relacionados con la condición o salud del activo y el riesgo del activo, que como actividad principal es la identificación de vulnerabilidades y la definición de planes para mitigarlo en cualquier evento de falla.

La planificación estratégica de gestión de activos traduce los objetivos generales de la organización como también los requisitos y las expectativas legales de las partes interesadas, en resultados de servicio específicos [99], lo que permite una estrategia global a largo plazo para la gestión de los activos [74]. En la Tabla 5.4 se muestra los principales componentes del proceso de planificación estratégica de gestión de activos.

**Tabla 5.4:** Componentes de un plan estratégico de gestión de activos. **Fuente:** [99]

<b>Política de gestión de activos</b>	Declaraciones políticas, principios y objetivos generales adoptados por una organización. La declaración de política de gestión de activos como tal se fundamenta en la política corporativa y en los objetivos corporativos; la declaración política debe estar alineada a dichos objetivos corporativos. La política de gestión de activos proporciona un marco de desarrollo para la aplicación de estrategias de gestión de activos y la instauración de los objetivos de gestión de activos físicos.
<b>Objetivos de gestión de activos</b>	Los objetivos de la gestión de activos se describen como los indicadores para la ejecución de la política de gestión de activos y consecuentemente la obtención de la estrategia de gestión de activos.
<b>Estrategia de gestión de activos</b>	Toma como referencia las especificaciones de la política de gestión de activos y sistemáticamente gestiona y establece las actividades que permitan a alcanzar los objetivos de gestión de activos.

### 5.3.2.2. Nivel Táctico

Dentro de una estrategia preestablecida, en este nivel se establece la forma para administrar y manejar los activos para alcanzar las metas y objetivos de gestión de activos a largo, mediano y corto plazo [96, 99]. La planificación táctica materializa las estrategias establecidas en la planificación estratégica (PEGA), determinando la forma de lograrlas, por consiguiente, produce planes agregados, y la información de estos planes se puede utilizar como objetivos a nivel operativo [100]. De tal manera el desarrollo de un plan de gestión de activos (AMP por sus siglas en inglés), proporcionará un marco para que la empresa distribuya los recursos idóneos y tome decisiones en base a la estrategia a lo largo de todo el ciclo de vida del activo físico.

- **Plan de gestión de activos**

De acuerdo con la norma ISO 55001:2014 [66], el plan de gestión de activos (AMP) es una información documentada en el que se detalla las actividades, ocupaciones, recursos y responsabilidades en un periodo determinado para un activo o un grupo de activos,

con el fin de lograr los objetivos de la organización vinculado a la gestión de activos. Generalmente el AMP es un documento de nivel táctico situado por debajo del plan estratégico de gestión de activos, uno de sus beneficios es que proporciona un plan de trabajo para obtener valor a través de los activos mediante la optimización de costos, riesgos y el rendimiento a lo largo de todo el ciclo de vida [101].

Los planes de gestión de activos generalmente se basan en actividades de mantenimiento en el mediano y corto plazo, ya sea reparación, revisión y remplazo, y el apoyo logístico para que los activos brinden un nivel de servicio ideal [102, p. 36]. En la Tabla 5.5, se describe los principales componentes que abarca tanto en el nivel táctico y operativo.

**Tabla 5.5:** Componentes de un plan de gestión de activos. **Fuente:** [99, 103, 104]

<b>Plan de adquisición</b>	Describe el proceso de análisis e identificación de necesidades en términos de activos con el objetivo de generar una disponibilidad oportuna de los mismos y apoyar los planes de negocios.
<b>Plan de operaciones</b>	Generalmente se concentra a corto plazo, y describe las tareas y operaciones de manera individual. El plan de operaciones traza una hoja ruta para el logro de los objetivos tácticos dentro de un marco de tiempo realista.
<b>Plan de mantenimiento</b>	Dividido en tres niveles de preparación: largo, mediano y corto alcance. A partir del plan corporativo se derivan los planes estratégicos, tácticos y operativos de mantenimiento. Estos planes deben ser coherentes con la visión y los objetivos corporativos.
<b>Plan de disposición</b>	Este plan conduce al proceso de planificación de activos nuevos o de remplazo. Las organizaciones necesitan un enfoque sistemático de mejora continua para elaborar planes de remplazo en el que todos los requisitos se indiquen con mucha anticipación.

### 5.3.2.3. Nivel operativo

En este nivel se indican las operaciones de la empresa que generan un valor único logrando los objetivos centrales. Alcanzar el desempeño operativo depende de que la organización reconozca los objetivos de la empresa ejecutando las estrategias. Para empezar, se puede evaluar la productividad en los procesos de fabricación mediante auditorías internas para medir el desempeño actual de la organización [105].

El nivel operativo generalmente comprende planes de implementación asociado a la ejecución de dichas prioridades en el corto plazo [76]. Los planes operativos (ver Tabla 5.5), en realidad funcionan como traducciones prácticas de las prioridades que surgen de los

planes tácticos con el fin de ofrecer niveles de servicio rentables. Estos planes generalmente brindan la dirección organizacional sobre una base anual o semestral y se refieren a elementos prácticos más que visionarios [74].

## 5.4. Mantenimiento

Años anteriores, el mantenimiento era considerado como un proceso netamente operativo, de la misma manera se lo valoraba como un aporte innecesario para las diversas funciones de gestión de la organización [106,107]. Sin embargo, este paradigma ha sido cambiado en los últimos años, y se reconoce que el mantenimiento es un factor de competencia clave dentro de la gestión de una organización [108,109]; es reconocido como un contribuyente de alto rendimiento en aspectos de sostenibilidad eficiencia y eficacia operativa de la producción dentro de la organización [110,111].

El desarrollo del mantenimiento es considerado principalmente como una función de apoyo para la gestión organizacional ya que juega un papel importante en la mejora del desempeño operativo de la organización, y permite que las instalaciones o activos estén disponibles y funcionando de manera efectiva [20], reduciendo costos asociados con el tiempo de inactividad y productos defectuosos [112]. Todos los beneficios se definen con la planificación, control y la creación de valor adicional del activo [80].

### 5.4.1. Definición

Según la Norma UNE-EN:2018 [113], define a mantenimiento como la “Combinación de todas las acciones técnicas, administrativas y de gestión, durante el ciclo de vida de un elemento, destinadas a conservarlo y devolverlo a un estado en el que pueda desarrollar la función requerida”, con la finalidad de disminuir costos, aumentar la disponibilidad y confiabilidad operacional, optimizar el rendimiento y aumentar el período de vida útil de los activos [114], para ello se requiere un alto nivel de experiencia del personal que lo desenvuelve, con un componente de conocimientos técnicos muy sofisticados y una alta participación del factor humano para un buen desempeño [115,116].

Las actividades de mantenimiento son consideradas como procesos netamente operativos a diferencia de la gestión de mantenimiento que forma parte de la dirección de operaciones y se enfoca principalmente en preservarlo y reconstruirlo en la medida de lo posible [117], para cumplir con el objetivo requerido en un determinado ciclo [118]. Una buena práctica de mantenimiento indica que los objetivos y estrategias de mantenimiento que

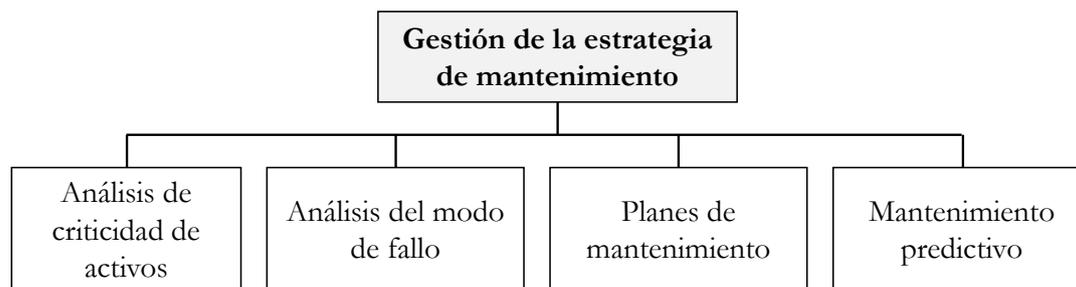
se plantearon no se determinan de forma aislada, sino que se derivan de factores como la política de la empresa, la política de fabricación y otras demandas y limitaciones potencialmente conflictivas en la empresa [34].

#### 5.4.2. Gestión de la estrategia de mantenimiento

La norma europea UNE-EN 13306 [113], define a la moderna gestión de Mantenimiento como: “Todas aquellas actividades de gestión que determinan los objetivos, las estrategias y las responsabilidades del mantenimiento y la implantación de dichas actividades por medios tales como la planificación del mantenimiento, el control del mismo y la mejora de las actividades de mantenimiento y las económicas”. Una estrategia de mantenimiento no se limita solo a la probabilidad de falla o parada de los elementos de la máquina o la adquisición de servicios de mantenimiento externos [119], sino que busca que las estrategias que se lleven a cabo permitan mejorar la eficiencia y la vida útil de las máquinas, la calidad del proceso y la productividad de la mano de obra [120]. Existen una serie de estrategias de mantenimiento disponibles en la actualidad que se han probado a lo largo de los años y su aplicación responde a la realidad de cada organización [121, 122].

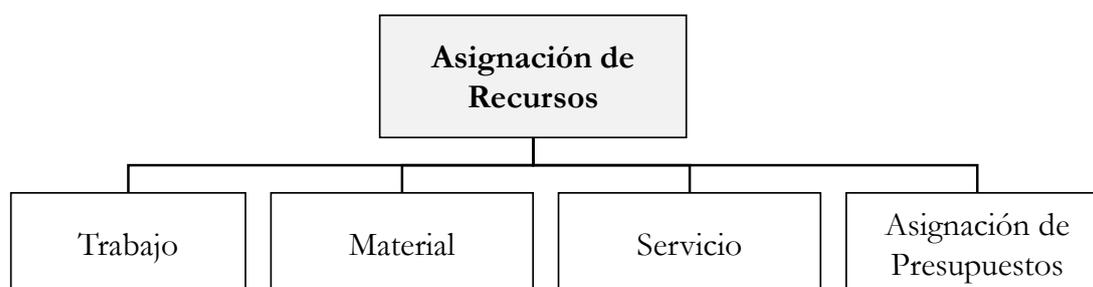
El objetivo fundamental de la gestión de mantenimiento desde el punto de vista estratégico, es garantizarle al cliente tanto externo como interno, la disponibilidad de los activos industriales cuando lo necesiten [40], con seguridad y confiabilidad total durante el tiempo óptimo necesario para operar con las condiciones tecnológicas exigidas previamente para llevar a cabo la producción de bienes o servicios que satisfagan las necesidades o requerimientos de las partes interesadas; con los niveles de calidad, cantidad y tiempo, reduciendo al máximo los costos, con los mayores índices de rentabilidad, productividad y competitividad posible [35, 42].

La gestión estratégica del mantenimiento es un factor clave dentro de la gestión de activos (ver Figura 5.8); es un proceso que parte desde un análisis del pasado, el conocimiento del presente y una visualización del futuro [123]. Es importante mantener un análisis constante de criticidad de activos para poder definir rangos relativos que representen las probabilidades y frecuencias de ocurrencia de eventos y sus consecuencias [124], con esto se previenen las fallas y se analizan los riesgos de un proceso mediante la identificación de causas y efectos a fin de determinar las acciones que se utilizarán para corregir las fallas [125], dichas acciones se ven encaminadas en un plan de mantenimiento predictivo en el que se deben alinear los objetivos estratégicos, tácticos y operativos de una organización.



**Figura 5.8:** Componentes de la Gestión estratégica de Mantenimiento. **Fuente:** [126].

La estrategia de mantenimiento requiere estar respaldada por planes tácticos [96], como se presentó en el Párrafo 5.3.2.2; cuyas principales competencias van desde la asignación de los recursos necesarios para el trabajo, disponibilidad de materiales, control de servicios hasta la asignación de presupuestos para su respectiva gestión [35], como se presenta en la Figura 5.9. La preparación y organización del mantenimiento son estilos de estrategias de gestión que coordinan al personal de mantenimiento [127]; para ello el gerente de mantenimiento debe contar con la experiencia, recursos y la visión para asegurar que el mantenimiento se realice correctamente [128], por esta razón se requiere una asignación de roles y responsabilidades adecuadas para una correcta administración de recursos incluyendo un conjunto de funciones básicas, cuyo cumplimiento parte desde el momento en que se formalizan los objetivos a nivel corporativo, hasta llevar a la consecución de las metas trazadas [129].



**Figura 5.9:** Asignación de Recursos para una Gestión Eficaz. **Fuente:** [126].

#### 5.4.2.1. Formulación e implementación de la estrategia de mantenimiento

Una estrategia de mantenimiento requiere ser sustentada por planes ejecutables y se necesita de una revisión periódica debido a los cambios en el entorno y los requerimientos del negocio [130], se debe considerar los siguientes factores clave en el proceso de formulación de una estrategia:

- La estrategia debe tener un enfoque holístico.

- La estrategia se debe implementar mediante un desarrollo estructurado.
- La estrategia debe ser flexible, que permita retroalimentaciones, mejoramientos y ajustes ante cambios en los requerimientos de mantenimiento.
- La organización debe conocer la línea base de la estrategia de mantenimiento, de tal manera que la visión de la organización se pueda reconstruir de acuerdo a prácticas exitosas [130, 131].

La implementación de una estrategia mantenimiento es una decisión adoptada por el responsable de la dirección de mantenimiento de una planta, durante la aplicación de esta estrategia, según Kelly [121] “Se deben identificar los objetivos comerciales de la organización y luego los mismos deben ser trasladados a mantenimiento”, con el objetivo de establecer un grupo de tareas como la base de la actividad del mantenimiento, y que el resto de tareas estén supeditadas a ese tipo básico de tareas [132, 133], lo que representa un reto para los gerentes de mantenimiento, pues cada organización afronta problemas diferentes de acuerdo a la propia filosofía de mantenimiento. Seleccionar una estrategia de mantenimiento adecuada requiere de un conocimiento previo de los principios y prácticas de gestión de mantenimiento, así como el conocimiento del desempeño específico de la instalación [131, 134], para definir las actividades de mantenimiento a realizar y la frecuencia con la que deben ser ejecutadas [135].

#### **5.4.2.2. Enfoque del mantenimiento bajo la gestión de activos**

En los próximos años, el mantenimiento y la gestión de activos se perfilan como eje clave de la competitividad de las empresas de clase mundial [32]. Durante la última década las organizaciones notaron que para administrar apropiadamente el mantenimiento, era necesario implementarlo dentro del plan de gestión corporativo [136], lo que significaba un reto importante, porque una vez integrado la gestión de mantenimiento dentro de la gestión de activos, este recibiría mayor valor y se desarrollaría como una función más de la organización [137], mejorando la toma de decisiones, reducción de costos, calidad de las operaciones y aumentando la rentabilidad del negocio y la satisfacción de los usuarios [138].

La finalidad del mantenimiento, bajo el enfoque de la gestión de activos físicos, según Parra [139] es: “Preservar la función de los activos a partir de estrategias de mantenimiento, operación, logística e inspección, que permita optimar el riesgo y la confiabilidad operacional, ayudando a maximizar la rentabilidad económica de los activos a lo largo de su ciclo de vida útil”.

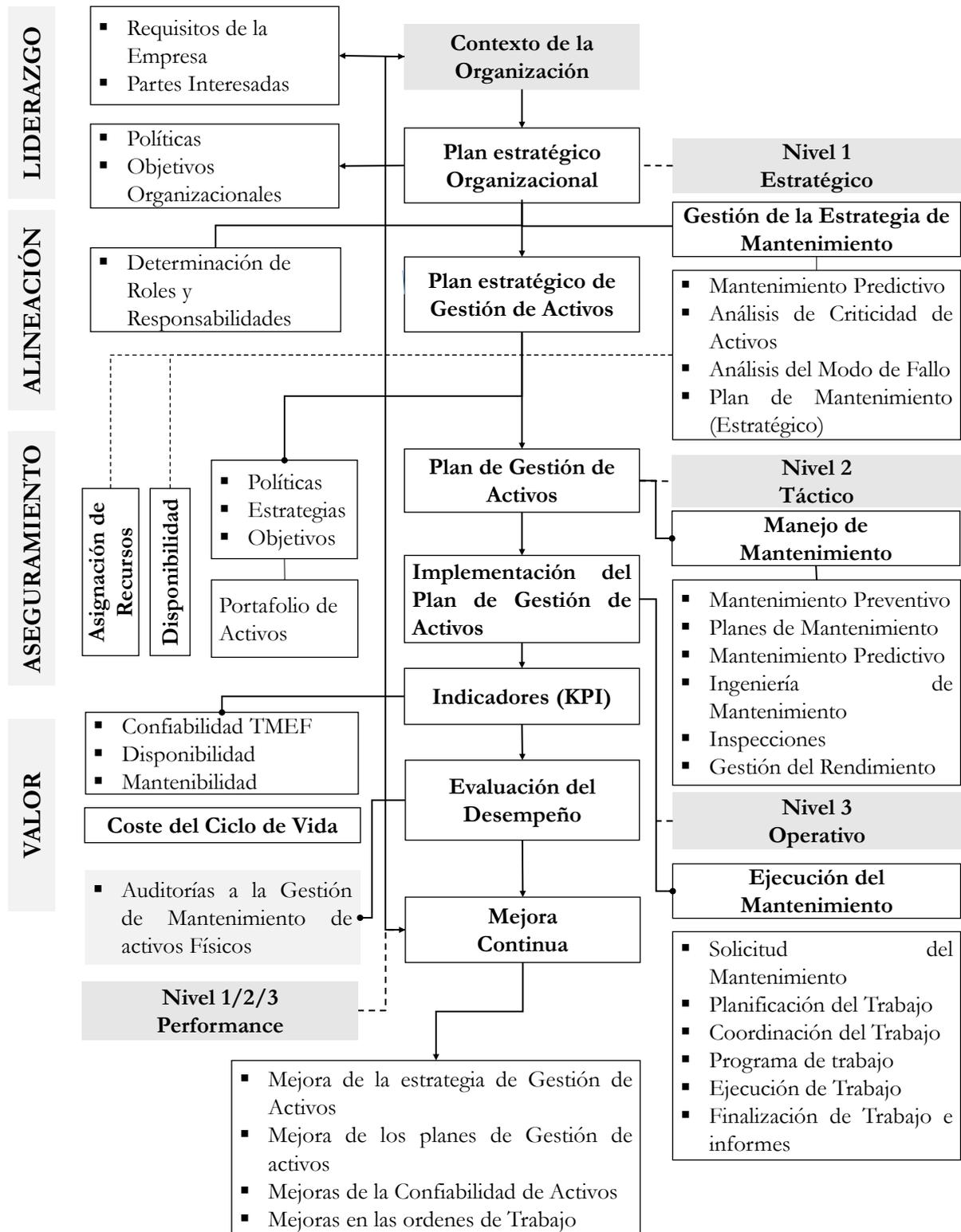
Antes de implementar estrategias dentro de las compañías, es importante tener claro la diferencia entre gestión de activos y mantenimiento. La gestión de activos basado en la norma ISO 55000, manifiesta la forma como una organización debe gestionar sus activos de forma financiera en todo el ciclo de vida. La gestión activos es un modelo de negocio que lo que busca es que se tomen decisiones que permitan maximizar la rentabilidad de los activos en todo su ciclo de vida, mientras que el mantenimiento es un proceso de gestión técnico-económica; que por supuesto, debe alinearse para contribuir ciertos requerimientos de un proceso financiero dentro de la gestión de activos. Dicho de otra manera, la gestión de mantenimiento se encarga de la planificación y control operacional que se efectúan sobre los activos, de manera que la estrategia general de la que dependerá dicho departamento, estará liderada desde la gestión de activos por parte de la alta dirección, en donde se establecen las políticas, objetivos y estrategias, que son esenciales para la mejora continua del negocio.

En la Figura 5.10, se presenta el enfoque del mantenimiento dentro de la gestión de activos, tomando como referencia los niveles organizacionales que repercuten en el rendimiento y los resultados finales del mantenimiento. Uno de los aportes principales, radica en la relación del plan estratégico organizacional con los procesos de mantenimiento que dan como resultado las estrategias y objetivos de mantenimiento.

El flujo de decisiones para el cumplimiento de metas y objetivos estratégicos inicia desde la estrategia corporativa o nivel superior, en el cual se toman decisiones que transforman las prioridades de negocio en prioridades de mantenimiento, a partir de ahí se derivan las necesidades de gestión de la estrategia del mantenimiento a nivel estratégico, luego pasa al nivel táctico en donde se define el sistema y los recursos necesarios para poner en marcha la implementación de las estrategias, esta parte del modelo se llama gestión del mantenimiento o manejo del mantenimiento, el cual representa todo el sistema que permite desarrollar todas las tareas de mantenimiento que se derivan de la estrategias que se han decidido, posteriormente se ejecuta el trabajo o mantenimiento a nivel operativo, en el que comprende el proceso denominado: “Ciclo de Mantenimiento”, que se refiere a la solicitud del trabajo, planificación, coordinación, programación, ejecución y reportes.

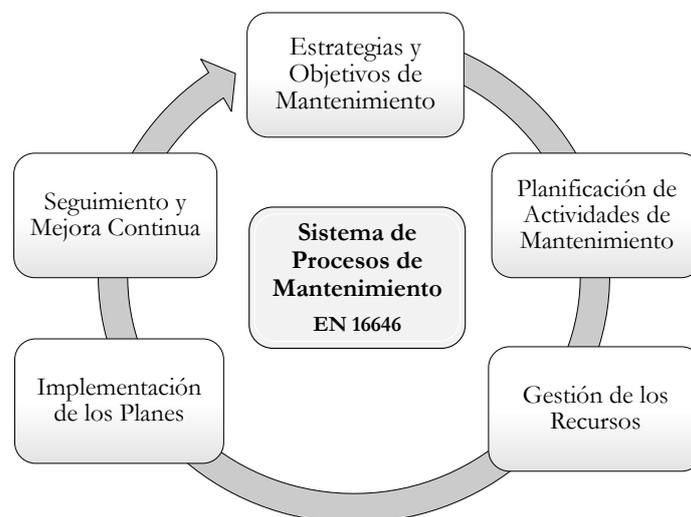
El modelo finaliza con el valor agregado, en el que a partir de documentos entregables materializa los indicadores técnicos de mantenimiento. Todo este conjunto de acciones permitirá que el costo del ciclo de vida de los activos sea mínimo y que de la misma manera dependa de la gestión de mantenimiento para la entrega de valor en términos confiabilidad,

disponibilidad y conformidad. Posteriormente los resultados correspondientes al nivel de evaluación de desempeño, sirven como retroalimentación para el nivel superior [140], ya que le permite a la alta dirección verificar el estado actual de la organización.



**Figura 5.10:** Relación del contexto de la organización, gestión de activos y procesos de mantenimiento. **Fuente:** Adaptado de: [126].

La estrategia de mantenimiento y el concepto de gestión influyen directamente en el rendimiento de los activos físicos, y esto se refleja en la efectividad, productividad y la eficiencia económica del mantenimiento [141, 142]. Dentro de este mismo escenario se busca que la gestión de activos sirva como marco para aquellas actividades y procesos de mantenimiento [47], tal como se presenta en la Figura 5.11.



**Figura 5.11:** Sistemas de procesos de mantenimiento. **Fuente:** [47].

## 5.5. Auditoría

### 5.5.1. Definición

Una auditoría, atendiendo una definición general, podría entenderse como un proceso de revisión sistemática de una actividad, área o una situación, y compararla frente a normas, criterios o políticas y procedimientos generados internamente y comunicar a los usuarios previstos [143, 144].

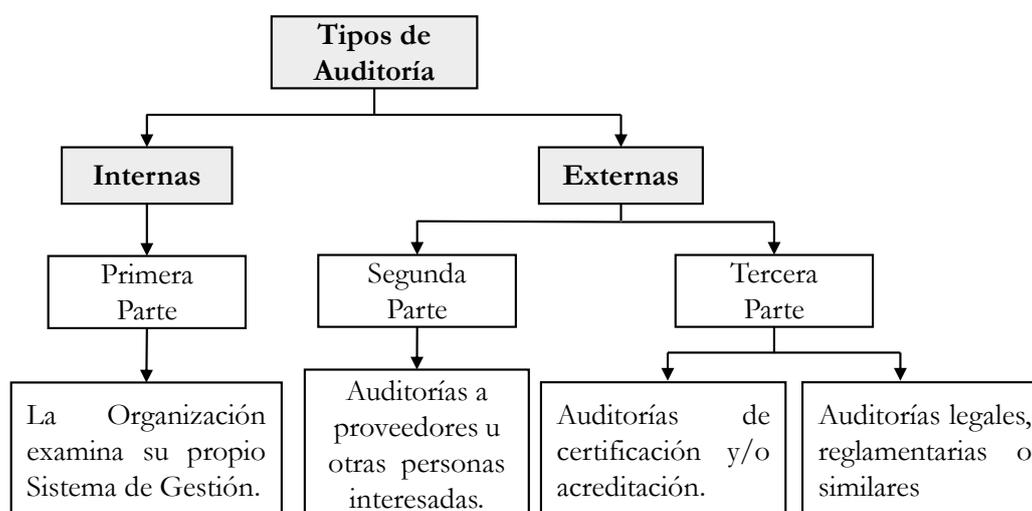
Según la Norma ISO 9000:2015 [58], define una auditoría como: “Un proceso sistemático, independiente y documentado para obtener evidencias objetivas y evaluarlas de manera objetiva con el fin de determinar el grado en el que se cumplen los criterios de auditoría”. A partir de este concepto surgen dos necesidades principales; la necesidad de reconocer el estado ideal y deseado de la organización, y la necesidad de un modelo de auditoría sistemática y rigurosa que asegure la eficacia [145]. Existe subjetividad durante el proceso de auditoría, de modo que, se debe incluir oportunidades de mejora para la creación de estrategias y de la mejora continua [142]; para ello, es importante conocer los comentarios de los mandos intermedios y técnicos ya que ellos tienen contacto directo con los problemas y errores cotidianos, asegurando una auditoría exitosa [146].

### 5.5.2. Tipos de auditoría

De acuerdo al ente que se evalúe, las auditorías se clasifican en internas y externas, tal como se presenta en la Figura 5.12. La norma ISO 19011:2018 [147], indica que las auditorías internas o de primera parte, son realizadas por el personal propio de la organización, o con personal externo a solicitud de la organización. Uno de los objetivos principales de la auditoría interna es proporcionar recomendaciones a la alta dirección para reforzar los controles internos existentes o sugerir nuevas ideas [10]. Las auditorías externas o de segunda parte son realizadas por los clientes de la organización o por otras personas en nombre del cliente. Se llevan a cabo cuando la organización tiene interés de conocer a un tercero, normalmente proveedores o subcontratistas [147]. Un auditor externo generalmente supervisa el trabajo de un auditor interno y, además, los informes de auditoría deben ponerse a disposición de los auditores externos [143]. Según Coetzee [148], una auditoría debe realizarse anualmente con apoyo externo, y medir el desempeño mensualmente para crear los registros idóneos para el auditor.

Las auditorías de tercera parte, comúnmente son llevadas a cabo por organizaciones auditoras de acreditación u organismos internacionales que proporcionan una certificación y/o acreditación [149,150], bajo normativas, patrones o políticas previamente establecidas por la propia institución.

Cuando una organización desea certificarse, lo primero que debe hacer es comprobar el estado actual de sus procesos mediante una auditoría interna, esta última se ve influenciada por una serie de factores como los requisitos normativos y legales, expectativas internas y competidores [143,151].



**Figura 5.12:** Tipos de auditoría. **Fuente:** Autores

Por otro lado, existen las auditorías remotas, si bien es un mecanismo que la estándar ISO 19011:2018 [147] ha contemplado a través del tiempo, muchas organizaciones al día de hoy no han empleado esta herramienta, ya que no disponen de los conocimientos necesarios para tal caso. Ahora por la situación pandémica (COVID-19<sup>1</sup>), genera y obliga a disponer de un programa de auditoría más eficiente que contemple aquellos factores externos que generan un impacto negativo a la organización (ver Sección 5.5.5). Las auditorías remotas proporcionan flexibilidad para lograr los objetivos de auditoría, permitiendo a la organización asegurar que sus sistemas de gestión sigan cumpliendo, a pesar de que se imposibilite la ejecución del proceso de auditoría en sitio, debido a restricciones de seguridad, restricciones de viaje o por el encierro voluntario u obligatorio debido a la actual pandemia de COVID-19.

### 5.5.3. Auditoría a la gestión de mantenimiento de activos físicos

Antes de realizar la auditoría, es importante conocer y entender su alcance en lo que respecta las auditorías técnicas y de gestión. La auditoría técnica se enfoca principalmente en el estado de los activos físicos [21], mientras que las auditorías de gestión se encargan de analizar y evaluar la gestión eficaz de la empresa, centrándose específicamente en una evaluación detallada de su entorno interno [153], proponiendo un plan de acción que mejore el rendimiento de la gestión de la organización [154]. Desde el enfoque del mantenimiento, una auditoría de gestión inicia desde la filosofía de mantenimiento de la organización hasta paradigmas gerenciales [155].

Dentro del contexto del mantenimiento, la auditoría permite valorar el rendimiento de una organización en cualquier área, comparando entre los procesos de mantenimiento existentes con los requisitos de mantenimiento especificados [109] para un modelo ideal. Según Tomlison [156], la auditoría debe describir lo que se está realizando y lo que se debería hacer, y proponer conjuntamente herramientas de mejora continua para lograrlo. Si los resultados de la auditoría contrastan un rendimiento favorable o no, las estrategias de mantenimiento que planteen los gestores o supervisores de mantenimiento, deben ayudar a mejorar continuamente a la gestión de mantenimiento [18, 157, 158] basado en el impacto de indicadores de rendimiento de mantenimiento previamente establecidos [159]. Desarrollar un plan de acción de mejora [160] permitirá reducir la incertidumbre en la toma de decisiones en los procesos de mantenimiento con el objetivo de maximizar la rentabilidad del negocio [144, 161].

---

<sup>1</sup>Infección viral altamente transmisible y patógena. Declarado brote mundial en Marzo de 2020 [152]

#### 5.5.4. Norma ISO/PC 302 19011:2018. Directrices para la auditoría de los sistemas de gestión

La Norma internacional ISO 19011:2018 [147], no establece requerimientos, sino que proporciona orientación sobre los principios de auditorías, gestión de un programa de auditoría y las actividades para llevarla a cabo, de manera que posibilite el cumplimiento de los requisitos establecidos de las normas ISO. Esta norma no es certificable, sin embargo, es aplicable a cualquier tipo de organización que desee llevar a cabo auditorías internas o externas de sistema de gestión, con el objetivo de mejorar el desempeño del sistema de gestión implementado [149, 162].

##### 5.5.4.1. Principios de auditoría

La norma internacional ISO 19011:2018 [147], plantea que las auditorías a cualquier sistema de gestión se caracterizan por depender de siete principios previos a la realización de las auditorías, y se detallan en la Tabla 5.6. Estos principios ayudan a que la auditoría sea una herramienta eficaz y fiable en apoyo de las políticas y controles de gestión [163]. La adhesión de estos principios permite proporcionar conclusiones de la auditoría que sean pertinentes y suficientes, con el objetivo de proporcionar información para que la organización pueda actuar de mejor manera para mejorar su desempeño.

**Tabla 5.6:** Principios de auditoría basados en la ISO 19011:2018. **Fuente:** [147, 164].

Principios	Descripción
<b>Integridad</b>	Considera las características relevantes de todo el equipo auditor y también las de cada uno de sus miembros: honestidad, responsabilidad, dedicación, imparcialidad y equilibrio.
<b>Presentación Imparcial</b>	Es la obligación de informar con veracidad y exactitud todos los hallazgos, conclusiones e informes que se realizan durante las auditorías.
<b>Confidencialidad</b>	Importancia de la discreción de los auditores, respecto a la información obtenida durante su trabajo.
<b>Independencia</b>	Trata sobre la imparcialidad y la objetividad que deben imperar en las conclusiones de auditoría, que solo se obtienen si el auditor puede realizar su trabajo de forma libre e independiente.
<b>Enfoque basado en evidencia</b>	Para obtener un proceso de auditoría sistemático, de forma que todas las auditorías resulten confiables y reproducibles. La evidencia debe ser verificable y comprobable desde el mismo momento en que se obtiene.
<b>Enfoque basado en riesgos</b>	Influye sustancialmente en la planificación, la realización y la presentación de informes de auditoría a fin de asegurar que las auditorías se centran en asuntos que son importantes para el cliente de la auditoría.

Antes de realizar una auditoría ya sea interna o externa, se debe establecer un programa de auditoría anual. Complementario al programa se deberá fijar un plan, este último debe ser lo suficientemente flexible para que cuente con la aceptación del auditado [165].

### **5.5.5. Gestión de un programa de auditoría**

#### **5.5.5.1. Generalidades**

De acuerdo con la ISO 19011:2018 [147], el programa de auditoría es un documento en el que se encarga de establecer los procedimientos para la ejecución de una o dos auditorías previamente planificadas, mediante la recolección, análisis y presentación de los resultados [166] por parte del auditor y los miembros de su equipo. De forma generalizada, un programa de auditoría establece aspectos como los procesos de auditar, la frecuencia, tipo de auditoría a realizar (interna o externa) y las fechas para la realización de la auditoría [167].

#### **5.5.5.2. Elementos de un programa de auditoría**

La ISO 19011:2018, menciona que un programa de auditoría debe incluir información e identificar aquellos recursos que permitan que las auditorías se realicen de forma eficaz y eficiente dentro de un tiempo establecido. Esta información debe incluir lo siguiente:

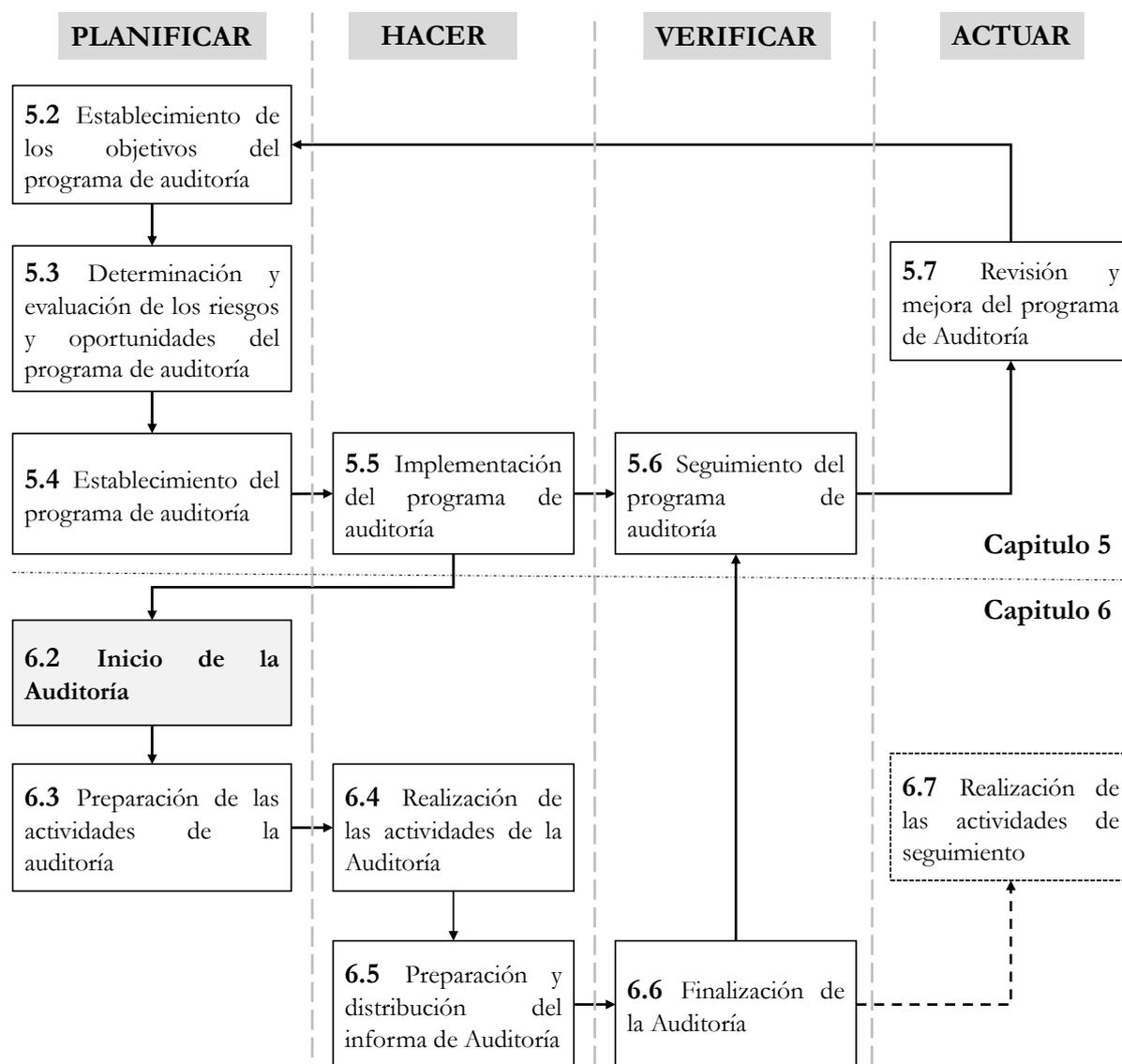
- Objetivos del programa de auditoría.
- Riesgos y oportunidades del programa de auditoría
- Alcance de cada auditoría, dentro del programa de auditoría
  - Extensión, límites, ubicaciones
- Calendario de las auditorías.
  - Número, duración, frecuencia
- Criterios pertinentes de auditoría.
- Métodos y tipo de auditoría (externa o interna).
- Documentos requeridos para la lectura previa.

#### **5.5.5.3. Metodología**

Para el desarrollo de la auditoría, varios autores [168–170] recomiendan utilizar una metodología basada en procesos de orden lógico, bajo un procedimiento de ejecución. La metodología PHVA, también conocido como círculo Deming, fue nombrado por primera vez en 1930 por Walter Shewhart [171], quien dio inicio a los primeros conceptos,

posteriormente esta idea fue adoptada por Deming [172] en 1986 para la mejora de un proceso o sistema. El proceso de auditoría se puede describir mediante las fases: plan (Planificar), efectuar lo planificado (Hacer), comprobar los resultados obtenidos (Verificar) y por último, tomar medidas de acción [173]. Todas estas fases comprenden el ciclo de auditoría, y se mueven a su vez para intentar mejorar la calidad [174].

El método PHVA es una herramienta de orientación eficaz para la ejecución de una auditoría, ya que le posibilita al auditor, llevarla a cabo de manera sistemática, reuniendo los elementos informativos [175], que le permita a la organización localizar aquellas áreas o procesos de mantenimiento que requiere la optimización como tal [176]. En la Figura 5.13, se presenta las diferentes etapas del ciclo para la gestión y ejecución del programa de auditoría bajo el enfoque de la norma internacional ISO 19011:2018 [147].



**Figura 5.13:** Gestión de un programa de auditoría. **Fuente:** [147].

### 5.5.6. Gestión del plan de auditoría

#### 5.5.6.1. Generalidades

Según la norma internacional ISO 19011:2018 [147], define un plan de auditoría como la “Descripción de las actividades y detalles acordados en una auditoría”, como parte del cumplimiento de un programa de auditoría. El plan de auditoría es un documento en el que el auditor líder detalla la naturaleza, calendario y el alcance para el procedimiento de una auditoría, especificando las actividades a desarrollarse durante su transcurso [177, 178]. El auditor debe proporcionar un plan de auditoría que se adapte a la organización y ayude a alcanzar los objetivos de auditoría de forma eficaz, con el objetivo de eliminar la incertidumbre en la toma de decisiones, posibilitando a la organización tomar acciones frente a los hallazgos de auditoría.

La planificación eficaz de la auditoría podría impulsar al departamento de la auditoría a ser el catalizador del desarrollo de la empresa, mediante el lanzamiento de proyectos que protegen y crean valor para la organización [179], ayudando a optimizar los costos por mano de obra, y el tiempo de desarrollo para la fase principal de la auditoría [180].

#### 5.5.6.2. Elementos de un plan de auditoría

El procedimiento de planificación de la auditoría puede dividirse en las siguientes etapas: planificación preliminar de la auditoría, planificación general de la auditoría y rutina o actividades de la auditoría a realizar [181]. Para dar cumplimiento al programa de auditoría, según la ISO 19011:2018 [147], un plan de auditoría debería tratar o hacer referencia a lo siguiente:

- Objetivos de auditoría.
- Alcance de auditoría. Identificación de la organización y de los procesos a auditar
- Criterios de auditoría y cualquier información documentada.
- Priorización de las áreas a auditar
- Fecha, lugar, horario y duración para la realización de las actividades de auditoría que se van a llevar a cabo, incluyendo las reuniones con la dirección del auditado y con el equipo auditor.
- Reconocimiento inicial de las ubicaciones físicas, instalaciones y procesos del auditado.
- Documentos requeridos para lectura previa
- Requisitos de confidencialidad

- Definición los métodos de auditoría que se van a utilizar
- Identificación y selección de los miembros del equipo auditor.
  - Establecer las funciones y responsabilidades.
- Asignación de los recursos necesarios relacionada con las actividades a auditar.

Como se presentó en la Sección 5.5.5 y 5.5.6, el programa y el plan de auditoría son conceptos similares, pero no iguales. En muchas ocasiones al momento de identificarse los datos suelen confundirse, y por ello en la Tabla 5.7, se describe de manera específica algunas singularidades en relación a estos documentos.

**Tabla 5.7:** Diferencias entre programa y plan de auditoría. **Fuente:** [182, 183]

	Programa de Auditoría	Plan de Auditoría
¿Cuándo se hace?	Anualmente	Días antes de realizar una auditoría
¿Quién lo hace?	Responsable de la empresa auditada	Líder del equipo auditor
¿Cuándo se debe conocer?	En el momento en el que se realiza la planificación anual de las distintas auditorías.	Días antes de realizar una auditoría
¿Qué función tiene?	Ser una agenda con la descripción de las auditorías que se realizarán a lo largo de un período definido.	Ser una guía que contenga todos los aspectos que van a ser evaluados en el proceso de auditoría
¿Cuántas auditorías se incluyen?	Varias	Una
Nivel de detalle de actividades	Más general	Más detallado

### 5.5.7. Criterio de auditoría

#### 5.5.7.1. Definición

Según la Norma internacional ISO 19011:2018 [147] define criterio de auditoría como el “Conjunto de requisitos usados como referencia frente a la cual se compara la evidencia objetiva”. Clark [184], menciona que una auditoría a la gestión de mantenimiento debe considerar todo el ciclo de vida del activo, de modo que, se debe identificar aquellos criterios pertinentes en todos los niveles de una organización, con el objetivo de alcanzar una buena y valiosa evaluación a la gestión de mantenimiento de activos físicos. En la Tabla 5.8, se presenta de manera detallada los criterios y subcriterios de auditoría para la gestión de mantenimiento, tomando en consideración todos los niveles de jerarquía de la organización [185]. Los criterios de auditoría son recolectados en base a requisitos reglamentarios, normativos, artículos e información pertinente para una correcta auditoría

a la gestión de mantenimiento bajo el enfoque de la gestión de activos.

**Tabla 5.8:** Recolección de los criterios de auditoría de mantenimiento. **Fuente:** Autores

	Criterios	Subcriterios	Referencia
<b>NIVEL ESTRATÉGICO</b>	Organización General	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requisitos de Alta Gerencia</li> <li>• Plan integral de gestión de activos</li> <li>• Estrategia integral y objetivos de mantenimiento</li> <li>• Estructura Organizacional(Organigrama)</li> <li>• Comunicación entre departamentos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• NB 12017 [186]</li> <li>• COVENIN 2500 [187]</li> <li>• Armando C, et al [114]</li> </ul>
	Monitoreo Financiero de Mantenimiento y KPIS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presupuestos de Mantenimiento</li> <li>• Gastos de Mantenimiento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Acosta y Troncoso [188]</li> <li>• UNE-EN 16646 [47]</li> <li>• Moubray [189]</li> <li>• Adyta Parida [11]</li> </ul>
	Tercerización del mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Política de contratación de personal de mantenimiento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Acosta y Troncoso</li> </ul>
	Modelos de jerarquización basado en riesgos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gestión de los procesos de seguridad, salud y ambiente</li> <li>• Priorización de equipos(criticidad)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Parra y Crespo [190]</li> </ul>
<b>NIVEL TÁCTICO</b>	Talento humano	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proceso de selección de personal</li> <li>• Capacitación y entrenamiento</li> <li>• Certificación de personal</li> <li>• Motivación al personal</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Acosta y Troncoso</li> <li>• NB 12017, 2013</li> <li>• Granhare et al [20]</li> </ul>
	Procesos de programación, planificación de planes de mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Políticas para la planificación</li> <li>• Planificación y programación de actividades de mantenimiento</li> <li>• Planes de mantenimiento por condición: técnicas predictivas</li> <li>• Control de los planes de mantenimiento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Acosta y Troncoso</li> <li>• UNE - EN 16646</li> <li>• COVENIN 2500</li> <li>• Parra y Crespo</li> </ul>
	Manejo de Mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ingeniería de mantenimiento</li> <li>• Mantenimiento predictivo</li> <li>• Mantenimiento correctivo</li> <li>• Mantenimiento preventivo</li> <li>• Gestión del rendimiento</li> <li>• Inspecciones</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Chandima [191]</li> <li>• Fouladgar et al [192]</li> <li>• Kirubakaran [193]</li> <li>• Acosta y Troncoso</li> </ul>
<b>NIVEL OPERATIVO</b>	Ejecución del mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistemas de información</li> <li>• Información sobre averías</li> <li>• Documentos de mantenimiento</li> <li>• Gestión de órdenes de trabajo</li> <li>• Documentación y análisis de fallos efectos y consecuencias</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Acosta y Troncoso</li> <li>• COVENIN 2500</li> <li>• Armando C, et al</li> <li>• NB 12017, 2013</li> </ul>
	Manejo de inventario de bodega de repuestos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inventario valorado y etiquetado de ítems de bodega</li> <li>• Gestión de stocks de repuestos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• NB 12017</li> <li>• Cholasuke, et.al [194]</li> <li>• NB 12017, 2013</li> </ul>

### 5.5.8. Hallazgo de auditoría

En los procesos de auditoría, los hallazgos corresponden a la evidencia recopilada, en base a los criterios que fueron auditados [165,195]. Los hallazgos dan cuenta de la conformidad o cumplimiento de un requisito o la no conformidad o incumplimiento de un requisito [147] del proceso de auditoría; de manera general, un hallazgo de auditoría muestra la existencia de oportunidades de mejora o el registro de la existencia de buenas prácticas [164]. Los resultados de auditoría, pueden resumirse en cuatro categorías que se presentan en la Tabla 5.9, en donde se aprecia el riesgo planteado para el hallazgo encontrado durante el proceso de auditoría.

**Tabla 5.9:** Categorías de los hallazgos de auditoría. **Fuente:** [147,164]

Hallazgo	Definición/Impacto
<b>Cumplimiento</b>	Adherencia total con el requerimiento del estándar analizado, el proceso se encuentra implementado y existen documentos para verificarlo.
<b>Oportunidad de mejora</b>	Representa un riesgo bajo de problemas, ofrece oportunidades para mejorar la práctica actual; una oportunidad de mejora no resuelta, con el tiempo puede convertirse en una reclamación.
<b>No conformidad menor</b>	Representa un riesgo medio, es una desviación del proceso, que no resultará en la falla del sistema o en la entrega de productos no conformes, ni reducirá la eficiencia del sistema.
<b>No conformidad mayor</b>	Representa un riesgo alto, que impacta directamente el requerimiento del cliente, quien puede recibir un producto o un servicio no conforme, o podría reducir la eficiencia del sistema.

### 5.5.9. Métodos y técnicas para la obtención de información de la auditoría

Actualmente el mantenimiento es el área que trata de mejorar y optimizar nuevas técnicas y métodos para evaluar su rendimiento; esta evaluación es realizada a partir de la información obtenida por el auditor, la cual debe ser competente y relevante de forma que facilite la emisión de criterios, conclusiones y recomendaciones [196]. Los procedimientos para conseguir este fin involucran a diferentes técnicas y métodos como la elaboración de encuestas basados en cuestionarios de evaluación [21] al personal, análisis de informes y diferentes modelos de gestión o indicadores [197], que permitan evaluar el rendimiento de la gestión de mantenimiento de activos físicos de manera cuantitativa o cualitativa [160]. Estos métodos de auditoría se encuentran estrechamente relacionados con las diferentes técnicas de auditoría; por lo que, se recomienda el uso combinado de estos, para asegurar un resultado objetivo, imparcial y fiable.

En el campo normativo, el estándar COVENIN<sup>2</sup> 2500-93 [187] de Venezuela, considera un método de evaluación de auditoría, basado en la elaboración de encuestas para auditar a la gestión de mantenimiento; que propone una serie de más de 70 indicadores para la evaluación a la gestión de mantenimiento. Los estándares mencionados, son similares en el sentido de que consideran las métricas cualitativas(encuestas) y cuantitativas(indicadores), como métodos de auditoría. Combinar ambos métodos ayudará al personal a darse cuenta de la realidad del mantenimiento y medir de manera óptima su desempeño [10].

#### 5.5.9.1. Método de encuestas

La encuesta es un método cualitativo, entendido como un conjunto de procesos necesarios para obtener información de una población mediante entrevistas a una muestra representativa [198]; esta entrevista se produce entre el auditor y el sujeto de estudio. Desde la perspectiva del mantenimiento, el método de encuesta permite elaborar un instrumento o cuestionario utilizado para recolectar información, el cual es diseñado para cuantificar y estandarizar el procedimiento de la entrevista; este cuestionario es de carácter organizacional, económico y estructural [199] con alternativas de respuestas múltiples cerradas, que delimitan los aspectos o variables que se requieren analizar [200], para conocer la situación actual del mantenimiento dentro de la organización.

La confiabilidad de la información obtenida a través del instrumento de recolección de datos [201] depende de la consistencia interna del cuestionario, esta propiedad se refiere a que los ítems que miden un mismo atributo deben presentar una correlación media entre ellos y se lo mide mediante un indicador denominado coeficiente alpha de Cronbach [202], el coeficiente de Cronbach oscila entre 0 y 1, y es considerado aceptable cuando  $\alpha$  es mayor a 0.7; así pues, mientras mayor sea el nivel de alpha, los ítems de la encuesta estarán altamente correlacionados [203, 204]. El coeficiente de Cronbach puede expresarse como:

$$\alpha = \frac{n\bar{r}}{1 + \bar{r}(n - 1)} \quad (1)$$

**Donde:**

$\alpha$  = Coeficiente de Alpha Cronbach

$n$  = Representa el número de elementos

---

<sup>2</sup>Comisión Venezolana de Normas Industriales

$\bar{r}$  = Correlación media entre elementos

### 5.5.9.2. Técnica de observación

La técnica de observación consiste en observar de manera minuciosa una acción o hecho, con el objetivo de recopilar información para un posterior análisis de datos [205]. Dentro del contexto de auditoría, la técnica de la observación conlleva a la presencia física del auditor con la finalidad de analizar y cerciorarse personalmente de hechos y circunstancias sujetas a revisión [206], relacionados con la forma de realizar las operaciones o procedimientos a cargo del personal del ente auditado [207].

La observación es la técnica de uso frecuente en los procesos de auditoría; sin embargo, es conveniente analizar el riesgo de su uso, pues este puede no reflejar la realidad [206], debido a que está limitada en el momento en que tiene lugar la observación y por el hecho de que el acto de ser observado puede afectar la manera en la cual se desempeñan las operaciones o procedimientos [208]. La técnica de observación puede ser clasificado por la forma de contacto con la parte auditada en:

- **Observación directa:** Cuando el auditor entra en contacto con el aspecto observado.
- **Observación indirecta:** Cuando el auditor no entra en contacto con el aspecto observado y lo evalúa por referencias o comparaciones.

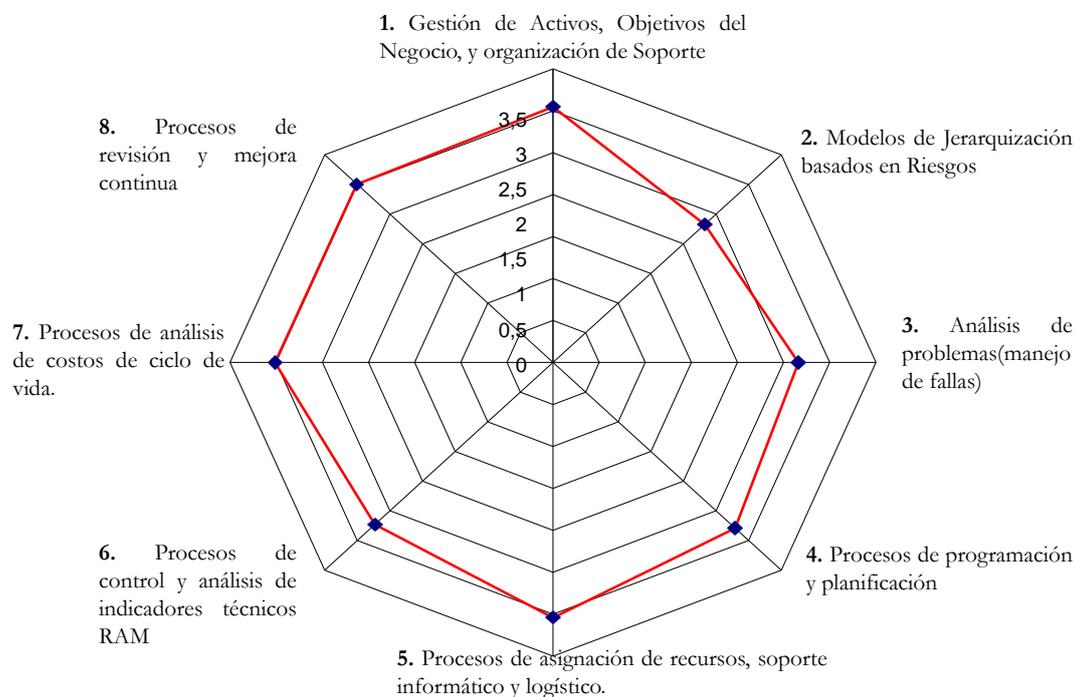
## 5.6. Representación gráfica de resultados

Una representación gráfica permite transmitir información de forma esquemática y global, la cual es captada rápidamente por el lector [209], luego de la evaluación que se realiza a la gestión de mantenimiento es necesario realizar un informe conciso y de comprensión general que simplifique la representación de los datos obtenidos, por lo que el uso de gráficos adecuados facilita este proceso [19].

### 5.6.1. Radar de mantenimiento

Esta herramienta permite codificar y analizar datos cuantitativos [210]. De acuerdo con Tavares [211], el método del radar o americano se basa en el uso del Radar de Mantenimiento (Ver Figura 5.14), que es una gráfica que se emplea para enlistar y analizar los principales indicadores o criterios de mantenimiento mediante la asignación de puntuaciones, que por lo general son obtenidas previo a la aplicación de un cuestionario

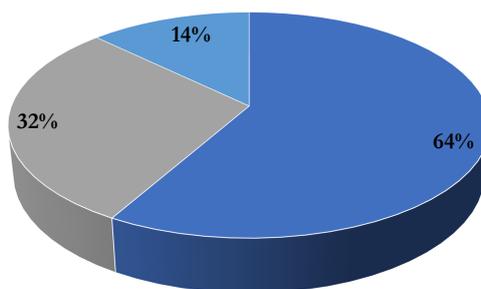
[212], permitiendo identificar de forma visual las diferencias existentes entre el estado actual y el estado ideal del mantenimiento de una organización [213], permitiendo identificar con facilidad los puntos críticos [19].



**Figura 5.14:** Ejemplo de resultados de una auditoría mediante el método del RADAR. **Fuente:** Autores

### 5.6.2. Diagrama de pastel

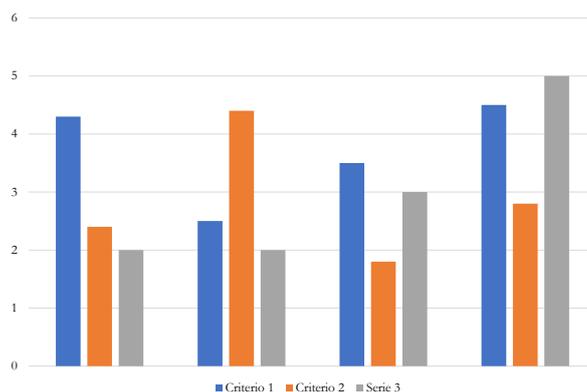
El diagrama de pastel o gráfica circular (ver Figura 5.15), es una forma habitual de presentar estadísticas sencillas [214], mediante la representación de variables cuantitativas, cualitativas o discretas de un grupo de valores relacionados con un total. Cada parte del diagrama expresa el valor que toma la variable [215], por lo que se recomienda emplearlos cuando los segmentos son significativos, es decir, cuando la superficie que ocupa la gráfica sea fácilmente visible y permita su comparación [216].



**Figura 5.15:** Diagrama de Pastel. **Fuente:** Autores

### 5.6.3. Gráfico de barras

El gráfico de barras es empleado para representar las características cualitativas y cuantitativas de un conjunto de datos, como se presenta en la Figura 5.16. Por lo general, el gráfico de barras se construye de forma vertical sobre una base horizontal, en el cual se colocan las características (criterios) y la altura está dada por los valores o cantidades que toma la variable [215, 216].



**Figura 5.16:** Gráfico de barras. **Fuente:** Autores

Los métodos y técnicas expuestas, son empleados para ejecutar la auditoría; el instrumento de evaluación usado se estructura de criterios y subcriterios de auditoría, valorados de manera cuantitativa y cualitativa para permitir a la organización identificar oportunidades de mejora en cualquier área dentro de una industria [18]. De manera que, para la selección y ponderación de los criterios y subcriterios de auditoría, el análisis de toma de decisiones con múltiples criterios, permitirá priorizar de manera cuantitativa y cualitativa los criterios y subcriterios de auditoría [217, 218]. Las técnicas de toma de decisiones con múltiples criterios, servirá a las organizaciones que deseen auditar a la gestión de mantenimiento, como una herramienta que posibilite determinar aquellas áreas que deberían corregirse, o sobre aquellos procesos en que es necesario un mayor control.

## 5.7. Técnicas de toma de decisiones con múltiples criterios

La toma de decisiones multicriterio, cuyas siglas en inglés son MCDM (Multi Criteria Decision Making) han ido evolucionando hasta convertirse en herramientas fundamentales especialmente en organizaciones, asesores y consultores técnicos para empresas privadas y gubernamentales [219]. La toma de decisiones se efectúa basándose en el binomio experiencia-intuición, permitiendo optimizar decisiones bajo un entorno complejo, con el fin de formular mejor el problema, aproximándose a la realidad [220]. La función

principal de las técnicas MCDM, es la de resolver varios problemas de toma de decisiones que involucran múltiples criterios [221], por lo que su aplicación implicará una mayor transparencia y exactitud en la toma de decisiones [222].

Las técnicas de toma de decisiones consideran factores de tipo cualitativo y cuantitativo, proporcionando un proceso sistematizado para basar las decisiones a la hora de clasificar/priorizar criterios en base a la importancia de su función [223]; sin embargo, cada técnica MCDM tiene diferentes propiedades adecuadas para diferentes problemas, por lo tanto, no existe una respuesta simple sobre qué técnica utilizar para un problema específico [224].

### **5.7.1. Métodos basados en la teoría de valor**

Los métodos basados en la teoría de valor son utilizados para obtener un orden de preferencia ya que cada alternativa está asignada a un resultado numérico. En su desarrollo general se establece un peso para cada atributo, mismo que dependerá de la importancia del criterio para tomar una decisión [225].

#### **5.7.1.1. Proceso de análisis jerárquico “AHP”**

Una de las herramientas más comunes y flexibles para la práctica de la toma de decisiones con múltiples criterios, es el Proceso de Jerarquía Analítica (AHP), desarrollado por Saaty [226] en 1980. Este método implica estructurar criterios cualitativos o cuantitativos de opción múltiple en una jerarquía, involucrando la opinión de expertos y un tamaño de muestra pequeño aceptable en su implementación [227–229]; los juicios y valores varían de un individuo a otro [230], por lo tanto, se requiere una ciencia de juicios y prioridades que posibilite alcanzar la universalidad y la objetividad [231]. En resumen, el método AHP permite evaluar la importancia relativa de criterios o variables, comparando alternativas para cada criterio, para luego, determinar una clasificación general mediante las matrices de comparación pareadas y la escala fundamental para comparaciones por pares [232,233].

Según el propósito al que se quiere alcanzar, el método AHP puede considerarse de distintas maneras. Su aporte es importante en niveles estratégicos, tácticos y operativos de una organización, maximizando la eficiencia, eficacia y fundamentalmente en la efectividad de cualquier sistema [231]. En este caso, dentro del proceso de gestión del mantenimiento, surge un factor de alto impacto relacionado con el uso de los recursos (presupuestos de mantenimiento, mano de obra a utilizar, materiales, repuestos y

herramientas), en otras palabras, se tienen que tomar decisiones que permitan orientar los recursos financieros, humanos y tecnológicos, con el fin de poder desarrollar los planes de mantenimiento en los distintos equipos que participan en los procesos de producción [234].

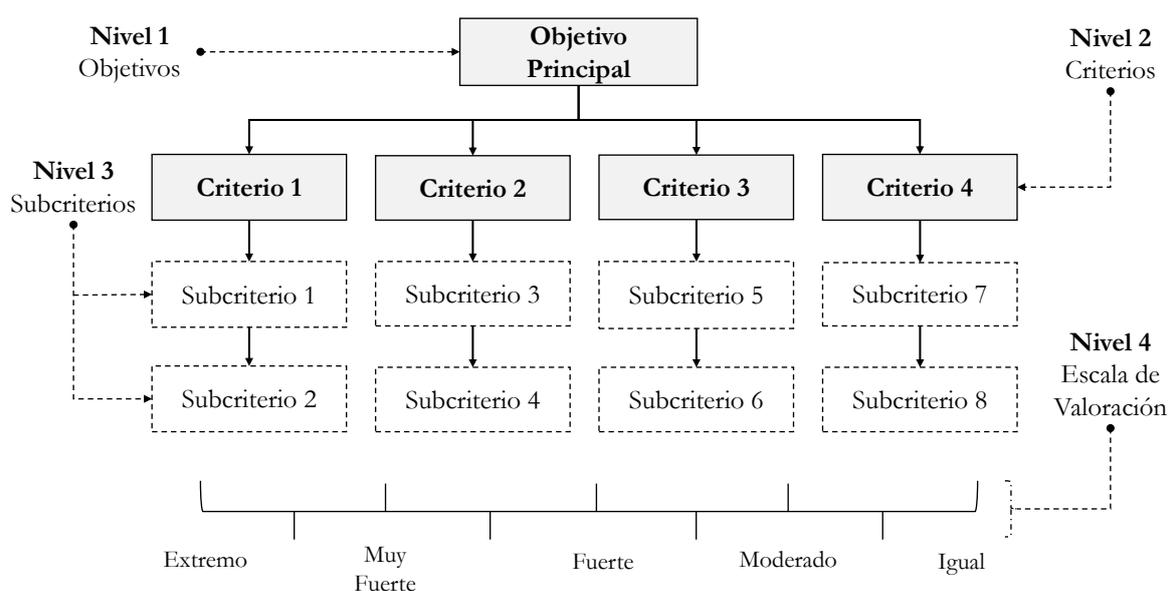
La aplicación de la técnica AHP, permite la determinación de la jerarquía de áreas, procesos, sistemas y equipos de un proceso de producción complejo, permitiendo subdividir los elementos en secciones que puedan ser manejadas de manera controlada y auditable [235], con el fin de mitigar la incertidumbre en la toma de decisiones asociado a la correcta distribución de los recursos por el área de mantenimiento. En esta línea, el proceso de jerarquía analítica proporciona un marco que permite a los gerentes tomar decisiones efectivas sobre asuntos complejos al simplificar y acelerar los procesos de toma de decisiones [185].

#### ■ Procedimiento general de aplicación del método AHP

Según Saaty [226], el proceso de análisis jerárquico propone realizar los siguientes pasos:

**Paso 1:** Definir los criterios de decisión en forma de objetivos jerárquicos.

El primer paso, implica estructurar una jerarquía dividiendo los problemas en pequeños elementos y en diferentes niveles [185], tal como se presenta en Figura 5.17. El primer nivel describe la definición del objetivo principal del proceso de jerarquización, el siguiente nivel se definen los niveles intermedios (criterios y sub-criterios a evaluar) y finalmente, en el nivel más bajo se desarrollan las alternativas a ser comparadas frente a los elementos propuestos de la estructura jerárquica.



**Figura 5.17:** Estructura jerárquica de criterios y subcriterios. **Fuente:** Autores

**Paso 2:** Ordenar y ponderar los criterios y sub-criterios de acuerdo con su importancia en cada nivel.

El segundo paso, implica la construcción de una matriz de comparación por pares de tamaño ( $n \times n$ ), donde ( $n$ ) es el número de factores o criterios [185]; los datos de la matriz se obtienen de la comparación de criterios por pares, con respecto a su importancia relativa por expertos [234]. Esas comparaciones se denominan juicios y se realizan utilizando una escala de nueve puntos, a lo largo de “1” que representa que el juicio de los dos criterios en cuestión contribuyen por igual al objetivo, y “9” detalla que un criterio tiene una importancia absoluta sobre el otro criterio. En la Tabla 5.10, se describe la escala de 9 puntos con la descripción de cada uno de los niveles de la escala.

**Tabla 5.10:** Valoración de juicios. **Fuente:** [226].

Juicios	Puntuación (Score)	Comentarios
<b>Igual</b>	1	El criterio A es igual de importante que el criterio B
<b>Moderado</b>	3	La experiencia y el juicio favorecen ligeramente al criterio A sobre el B
<b>Fuerte</b>	5	La experiencia y el juicio favorecen ligeramente al criterio A sobre el B
<b>Muy Fuerte</b>	7	El criterio A es mucho más importante que el criterio B
<b>Extremo</b>	9	La mayor importancia del criterio A sobre el B esta fuera de toda duda
<b>2,4,6,8</b>	Valores intermedios entre los anteriores, cuando es necesario matizar.	
<b>Recíprocos de lo Anterior</b>	Si el criterio A es de importancia grande frente al criterio B las notaciones serían las siguientes: Criterio A frente al criterio B 5/1 Criterio B frente al criterio A 1/5	

Posteriormente, en una matriz de juicios, un vector de prioridad es calculado y usado para pesar (comparar) los elementos de la matriz. Saaty [226,236], matemáticamente demostró que el autovector normalizado calculado a partir de la matriz, es la mejor aproximación de evaluación de los criterios analizados. En el caso de criterios cuantitativos, es necesario diseñar un método de priorización que permita cuantificar de forma consistente el peso de cada criterio a ser analizado [237].

**Paso 3:** Verificación de la consistencia y desarrollo de clasificación general de prioridad.

Durante esta fase, se emplea un enfoque de media geométrica para combinar juicios individuales de comparación por pares, y obtener consenso para las matrices de juicio de comparación por pares para toda la muestra. Antes de determinar una inconsistencia, es necesario estimar el Índice de Consistencia (CI) de una  $n \times n$  matriz de juicios, Saaty [238] en el 2008 definió el CI como:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (2)$$

**Donde:**

$CI$  = Índice de consistencia

$\lambda_{max}$  = Máximo valor propio de la Matriz

$n$  = Tamaño de matriz o número de factores

La relación de consistencia (CR) se usa luego para evaluar si una matriz dada es consistente, tomando la razón de CI al índice aleatorio (RI) valor encontrado en la Tabla 5.11.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (3)$$

**Donde:**

$CR$  = Relación de consistencia

$RI$  = Índice o valor aleatorio promedio

Se simulan comparaciones aleatorias por pares para producir índices aleatorios promedio para matrices de diferentes tamaños. En la Tabla 5.11 se presenta una lista de RI estimados por Saaty [238] para matrices recíprocas positivas de órdenes 2 a 10 generadas a partir del conjunto de enteros 1 a 9 y sus recíprocos forzados:

**Tabla 5.11:** Valores de RI para matrices de diferentes órdenes

<b>n</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>RI</b>	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.48
<b>Nota: n es el número de factores</b>										

Según Saaty [238], el CR es aceptable si ( $CR \leq 0,10$ ); si es mayor, entonces se debe considerar que la matriz de juicios es inconsistente, y los juicios deben revisarse y

mejorarse hasta que se obtenga una matriz consistente.

**Paso 4:** Jerarquizar las alternativas y tomar las decisiones correspondientes.

Para cada alternativa (opciones a jerarquizar), se calcula el nivel de preferencia (jerarquización) sobre una escala entre 0.0000–1.000, obteniéndose como resultado alternativas jerarquizadas en función de los criterios de decisión evaluados [226].

### 5.7.2. Proceso analítico en red “ANP”

El proceso de análisis en red (ANP), desarrollado por Saaty [239] en 1996, es un método para determinar las ponderaciones de importancia de los criterios de decisión. El problema de decisión se transforma en una estructura de red [9], con la finalidad de captar la dependencia y la retroalimentación entre elementos de decisión para producir resultados más eficaces y fiables; por ello, el método ANP parece ser particularmente útil para las aplicaciones de mantenimiento real [240]. En la Tabla 5.12, se presenta algunos trabajos realizados por varios autores, referente a la aplicación del método ANP en las diversas áreas de mantenimiento.

**Tabla 5.12:** Estudios sobre el uso del ANP en el mantenimiento. **Fuente:** [147, 164]

Autor	Descripción
Tan, et al. [241]	Este trabajo denominado: “Evaluación de la estrategia de mantenimiento mediante inspección basada en riesgos”, adoptó los métodos AHP y ANP para determinar la estrategia de mantenimiento más adecuada para la unidad ISOMAX de la refinería de petróleo de Fujian, en China.
Shafiee et al. [242]	En este estudio se propone un modelo que es una combinación de ANP y de análisis de criticidad coste-riesgo para elegir la mejor estrategia de mantenimiento de sistemas multicomponentes. El objetivo del modelo era encontrar la mejor estrategia de mantenimiento que cumpliera los objetivos de mínimo coste.
Gupta and Mishra [243]	Este trabajo denominado “Identificación de componentes críticos mediante ANP para la implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad”. En el cual se intenta conocer los factores clave asociados a la criticidad de los componentes. Para el análisis de criticidad se propusieron cinco criterios y para identificar los componentes críticos se propone una red jerárquica basada en el proceso analítico de la red ANP.
Yaoguang [244]	Este trabajo denominado “Metodología basada en múltiples criterios (ANP) para construir redes de mantenimiento para el clúster de maquinaria agrícola en un contexto de cuadro de mando integral”: propone la definición de una red de mantenimiento de maquinaria agrícola para lo cual desarrolla un marco general para seleccionar el proveedor de servicios para la red de mantenimiento.

Adriaan Van Liliane Pintelon [9]	Este trabajo denominado: “Desarrollo de un marco de medición del rendimiento del mantenimiento, mediante el proceso de red analítica (ANP) para la selección de indicadores de rendimiento del mantenimiento”: desarrolla un marco de medición del desempeño del mantenimiento, en donde es aplicado el proceso de red analítica ANP para derivar y priorizar indicadores de desempeño de mantenimiento específicos del negocio.
Peter Chemweno et al. [245]	Este trabajo denominado : “Desarrollo de una metodología de selección de evaluación de riesgos para la toma de decisiones de mantenimiento de activos: un enfoque de proceso de red analítica (ANP)”: En este estudio, se propuso una metodología de selección de técnicas de evaluación de riesgos en el dominio de la toma de decisiones de mantenimiento. Los criterios se priorizan utilizando el Proceso Analítico de Red (ANP).

### 5.7.2.1. Generalidades

El método ANP, es una extensión o variante del proceso de jerarquía analítica (AHP). Ambos métodos utilizan un sistema de comparaciones por pares para medir los pesos de los criterios que componen una estructura, para luego clasificar las alternativas en la decisión [246]. A diferencia del AHP, en donde el problema de decisión se estructura en forma jerárquica con un objetivo, criterios de decisión y alternativas, en donde cada elemento de la jerarquía se considera independiente de los demás, y en consecuencia es débil para abordar muchos problemas de toma de decisiones en el mundo real [247]; el método ANP ofrece resultados más ajustados a la realidad industrial, ya que permite incluir relaciones de interdependencia y realimentación entre elementos del sistema, estructurando los problemas de decisión a través de enlaces de red [240]. Los enlaces representan la dependencia entre los clusters(componente) y elementos, las dependencias entre elementos en el mismo grupo de decisiones se representa a través de dependencias internas, mientras que las dependencias entre elementos de grupo a otro se representan a través de dependencias externas [245, 248].

#### ■ Procedimiento general de aplicación del método ANP

El método ANP se puede realizar a través de cinco pasos que se detallan a continuación:

**Paso 1:** Definir el problema y construir la estructura de red de forma lógica.

El primer paso, implica modelizar el problema de decisión mediante una estructura en red (Figura 5.18), que se construye a partir de la comprensión del problema de decisión, así como las asociaciones entre diferentes elementos relacionados con el problema de decisión [249]. La estructuración del modelo ANP, inicia con la identificación de los elementos, es

decir, los criterios de decisión, luego se agrupan estos criterios en componentes que están conectados entre sí de acuerdo con una característica común, y finalmente se analiza las relaciones que existen entre los clusters y los elementos de la red [250, 251]. Como se presenta en la Figura 5.18, los elementos de la red pueden interactuar o influir sobre algunos o todos los elementos de otro componente lo que se conoce como interdependencia o retroalimentación; también, puede existir una relación entre elementos de un mismo componente, conocida como dependencia interna respecto a una propiedad común [252]. A continuación, se describe los tipos de conexiones entre componentes en una red ANP:

- En  $C_1$  y  $C_2$  no ingresa ninguna flecha, de manera que son considerados componentes fuente.
- En  $C_5$  ingresan, pero no salen flechas, por lo que es considerado componente sumidero.
- En  $C_3$  y  $C_4$  entran y salen flechas, y se conocen como componentes transitorios.
- $C_3$  y  $C_4$  forman un ciclo de dos componentes que se retroalimentan mutuamente.
- $C_2$  y  $C_4$  mantienen un bucle que los conectan entre sí debido a que dependen de manera interna.
- Las conexiones restantes representan una dependencia externa entre componentes [253, p. 9].

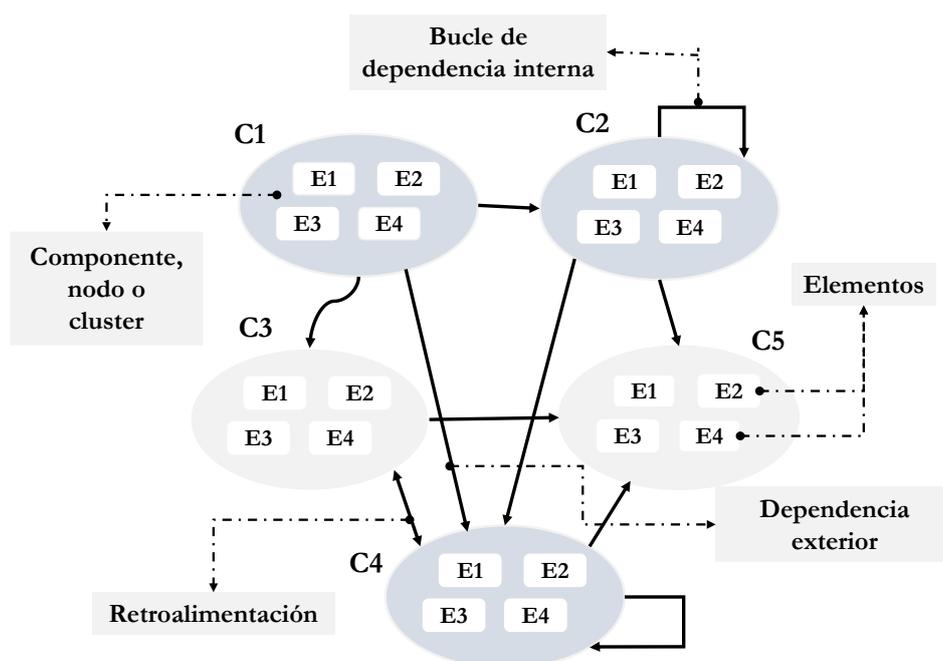


Figura 5.18: Estructura general del ANP. Fuente: [239, 251]

Una vez realizada la estructura de red, es recomendable elaborar la matriz de denominación interfactorial, que recoge la información gráfica de la red ANP. Los datos de las relaciones entre los elementos presentes en la red son codificados con unos y ceros, indicando si existe o no influencia entre los diferentes subcriterios.

**Paso 2:** Comparación por pares de clusters y elementos, para obtener el vector de prioridad.

Una vez que el problema de decisión se ha transformado en una estructura de red específica. De forma similar a la comparación por pares realizada por AHP, en el método ANP se requiere que un grupo de expertos respondan de forma simultánea a una serie de comparaciones por pares, con respecto a un criterio de nivel superior para obtener las prioridades generales; los responsables de la toma de decisiones evalúan la importancia relativa entre clusters y elementos [254] a partir de la escala fundamental del método AHP (Tabla 5.10) desarrollada por Saaty [255] en 1990.

Según Saaty, si el elemento  $i$  adquiere los valores 1-9, según la Tabla 5.10, cuando se compara con el elemento  $j$ , entonces se asigna un valor recíproco a  $j$ , es decir,  $a_{ij} = 1/a_{ji}$ , donde  $a_{ij}$  denota la importancia relativa del  $i$ -ésimo ( $j$ -ésimo) elemento. Para cada nivel, se obtiene una matriz de comparación por pares basada en los juicios del decisor  $a_{ij}$ .

El juicio de expertos, refleja el dominio entre elementos y clusters en la red ANP, el cual da respuesta a dos tipos de preguntas [256]:

- Dado un criterio, ¿cuál de los dos elementos es más dominante con respecto a ese criterio?
- ¿Cuál de los dos elementos influye más en un tercer elemento con respecto a un criterio?

El número de matrices de comparación por pares que deben ser realizadas, responden a la ecuación [9]:

$$n_0 = \frac{n(n-1)}{2} \quad (4)$$

**Donde:**

$n$  = número de elementos que hay que comparar (criterios)

Para determinar la consistencia de los juicios de cada comparación por pares, se calcula el índice de consistencia (CI) de una matriz, mediante la Ecuación 2, y se compara con

el índice o valor aleatorio promedio (RI) de la Tabla 5.11, para obtener la relación de consistencia (CR) de las comparaciones por pares a partir de la Ecuación 3 [226, 257].

Si  $CR \leq 0,1$ , la matriz de comparación por pares es consistente.

**Paso 3:** Generación de la supermatriz ponderada.

Después de la elaboración de la matriz de comparación por pares, los valores obtenidos de las matrices de comparación por pares, estas sirven de base para la construcción de la supermatriz no ponderada, la cual deben ingresarse en columnas específicas [258] para la representación de la priorización relativa [259].

La supermatriz no ponderada, por ende, debe ser normalizada dividiendo cada valor de la matriz para la suma de las columnas que tenga la matriz; de esta forma, se obtiene una matriz estocástica por columnas, es decir, todas las columnas suman uno.

**Tabla 5.13:** Matriz de dominación interfactorial. **Fuente:** [260]

		$C_1$				$C_2$				...	$C_n$			
		$e_{11}$	$e_{12}$	...	$e_{1n_1}$	$e_{21}$	$e_{22}$	...	$e_{2n_2}$		$e_{N1}$	$e_{N2}$	...	$e_{Nn_N}$
$C_1$	$e_{11}$	$W_{11}$				$W_{12}$				...	$W_{1N}$			
	$e_{12}$													
	...													
	$e_{1n_1}$													
$C_2$	$e_{21}$	$W_{21}$				$W_{22}$				...	$W_{2N}$			
	$e_{22}$													
	...													
	$e_{2n_2}$													
⋮		...				...				...	...			
$C_N$	$e_{N1}$	$W_{N1}$				$W_{N2}$				...	$W_{NN}$			
	$e_{N2}$													
	...													
	$e_{Nn_N}$													

**Paso 4:** Generación de la supermatriz límite.

En este paso se multiplica la supermatriz ponderada por ella misma tantas veces como haga falta, hasta que todas sus columnas converjan a un valor estable. Los valores obtenidos indican la prioridad global de los elementos de la red [261]. La razón de tomar el límite de la supermatriz ponderada es argumentada por la necesidad de obtener todas las posibles influencias de los caminos del modelo en red [262].

**Paso 5:** Extraer la información buscada.

Las interdependencias acumuladas reveladas por la matriz de límites, indican la prioridad de todos los elementos presentes en la red

## 6. MARCO EXPERIMENTAL

El proceso para la ejecución del modelo de auditoría se presenta en la Figura 6.1, en donde se detallan las distintas fases compuesta por un conjunto de actividades a efectuarse.

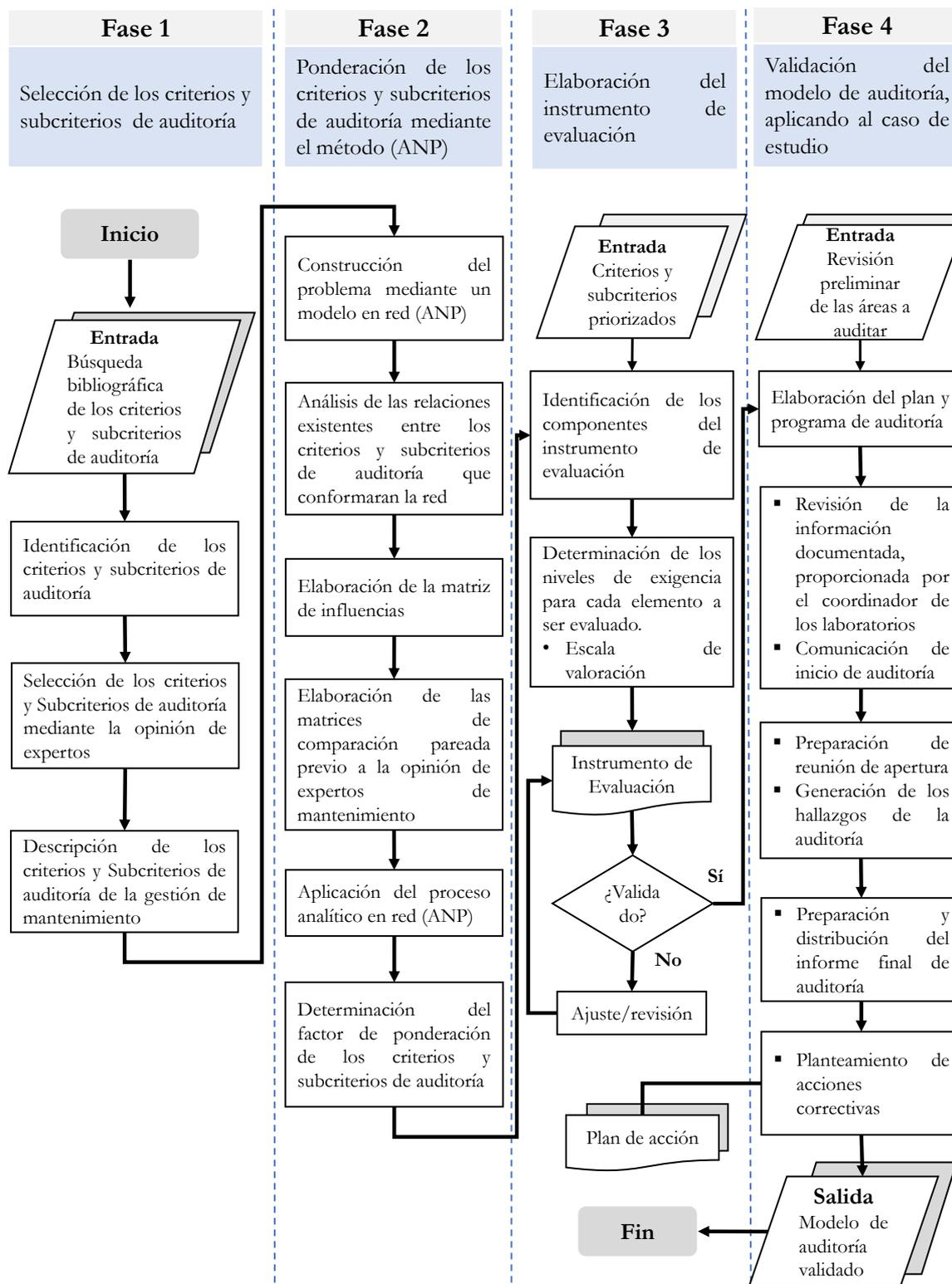


Figura 6.1: Marco esquemático del modelo de auditoría. Fuente: Autores.

### 6.1. Fase 1: Selección de los criterios y subcriterios de auditoría

Para el cumplimiento de esta fase, se realizó una revisión previa de la literatura en base a artículos académicos, normativas y revistas, para recolectar los criterios y subcriterios de auditoría. En la Tabla 5.8, se presentaron los criterios y subcriterios de auditoría para la gestión de mantenimiento, los cuales se encuentran interrelacionados acorde a los niveles de la organización, es decir la parte estratégica, táctica y operativa.

Para la selección de los criterios y subcriterios de auditoría se requirió la opinión de expertos en la cátedra de mantenimiento, para valorar si los criterios y subcriterios se adaptaban al contexto y a las exigencias del área de estudio; para esto, los expertos fueron encuestados mediante el cuestionario que se presenta en el anexo A.1.

Los resultados tabulados se encuentran en el Anexo A.1.2, e indican que el 55 % de los profesionales cuentan con una formación académica de cuarto nivel, el 60 % se desempeña en el campo industrial y académico, el 70 % por ciento posee entre 15 y 20 años de experiencia laboral, el 65 %, cuenta con conocimiento en gestión de activos, y finalmente el 70 % labora en empresas/instituciones en las que trabajan más de cien personas, lo que se categoriza como medianas y grandes empresas/instituciones. Se verifica así que los expertos que fueron encuestados, cuentan con la experiencia y conocimiento necesario para emitir criterios de valor en torno a la gestión de mantenimiento.

Como resultado de la selección de los expertos fueron seleccionados nueve criterios y treinta y uno subcriterios, los cuales son descritos a continuación:

- **Criterio 1: Organización general (OG)**

**OG1 Requisitos de alta gerencia:** Los requisitos de alta gerencia son los objetivos institucionales que una organización proyecta lograr a través de su sistema de gestión de mantenimiento.

**OG2 Plan integral de gestión de activos:** Un plan integral de gestión de activos involucra un conjunto de procesos, procedimientos y herramientas que trabajan de forma conjunta para generar mayor valor en los activos.

**OG3 Estrategia integral y objetivos de mantenimiento:** Los objetivos de mantenimiento traducen los requisitos de alta gerencia en actividades, las cuales alinean las estrategias, las políticas, los procesos, los recursos y responsabilidades que se seguirán para la consecución de mencionados objetivos.

**OG4 Estructura organizacional (organigrama):** La estructura organizacional u organigrama representa la línea de jerarquía que existe entre los departamentos de una empresa, e indica la ubicación del mantenimiento dentro de la misma.

**OG5 Comunicación entre departamentos:** La comunicación entre departamentos es una herramienta estratégica; una correcta y transmisión de la información promoverá un mejor desempeño del departamento en general.

■ **Criterio 2: Monitoreo financiero de mantenimiento y KPIS (MF)**

**MF1 Presupuesto de mantenimiento:** Para lograr el éxito en la gestión de mantenimiento se requiere de una elaboración anticipada de un presupuesto de mantenimiento, estos cálculos son proyecciones que pueden o no materializarse.

**MF2 Gastos de mantenimiento:** El cálculo del indicador gastos de mantenimiento, permite conocer hasta donde es posible presupuestar actividades tanto para el mantenimiento planificado como para el mantenimiento no planificado.

■ **Criterio 3: Tercerización de actividades de mantenimiento (TM)**

**TM1 Política de contratación de personal de mantenimiento:** Para tercerizar actividades de mantenimiento es necesario establecer una política de contratación en función de las necesidades de la empresa y el presupuesto, pues, existen en el mercado varias empresas que ofrecen solventar estas necesidades.

■ **Criterio 4: Modelos de jerarquización basado en riesgos (MJ)**

**MJ1 Gestión de los procesos de seguridad, salud y medio ambiente:** La gestión de los procesos de seguridad, salud y ambiente corresponden a una revisión y documentación minuciosa de cada paso de un trabajo a fin de identificar peligros potenciales existentes, esto con el objetivo de reducir o eliminar los mismos, garantizando siempre el bienestar del personal.

**MJ2 Priorización de equipos (criticidad):** La priorización de equipos es una metodología empleada para el proceso de toma de decisiones, en esta, los equipos son jerarquizados considerando su impacto global.

■ **Criterio 5: Talento humano (TH)**

**TH1 Proceso de selección de personal:** El objetivo del proceso de selección de personal es elegir al candidato que se encuentre mejor calificado y su trabajo

beneficie al departamento, por lo tanto, es necesario que para el proceso de selección se cuente con requerimientos o políticas definidas.

**TH2 Capacitación y entrenamiento:** La implementación de un programa de capacitación para personal de mantenimiento, requiere una inversión de recursos económicos. Para utilizar eficientemente los recursos, es aconsejable identificar las necesidades de capacitación del personal.

**TH3 Certificación de personal:** Una certificación de personal ayuda a la organización a aumentar su confiabilidad y prestigio.

**TH4 Motivación al personal:** La motivación al personal es la base de la productividad y eficiencia de una empresa, mantener a los empleados en un entorno de trabajo adecuado con una comunicación eficiente, involucrado a la toma de decisiones beneficiará su desempeño.

- **Criterio 6: Procesos de programación, planificación y optimización de planes de mantenimiento (PP)**

**PP1 Políticas para la planificación:** Las políticas para la planificación las determinan la gerencia de mantenimiento, estas constan de una planificación para políticas de ejecución de cómo se van a realizar las actividades.

**PP2 Planificación y programación de actividades de mantenimiento:** Una planificación y programación adecuada es importante para cumplir con las actividades establecidas en el plan de mantenimiento, en tiempos programados y con una asignación de personal, materiales, repuestos y equipos de apoyo necesarios.

**PP3 Planes de mantenimiento por condición técnicas predictivas:** Las técnicas de mantenimiento predictivo son realizadas con el objetivo de caracterizar el estado de una máquina, su objetivo principal es reducir gastos y accidentes, optimizando la productividad de la empresa.

**PP4 Control de los planes de mantenimiento:** El control de los planes de mantenimiento involucra una serie de actividades que se llevan a cabo para garantizar eficiencia y eficacia en los procesos de mantenimiento.

- **Criterio 7: Manejo de mantenimiento (MM)**

**MM1 Ingeniería de mantenimiento:** La ingeniería de mantenimiento se encarga de guiar el análisis y desarrollo de técnicas para la optimización de equipos, procesos

y procedimientos, con el objetivo de mejorar los procesos de mantenimiento de una empresa.

**MM2 Mantenimiento predictivo:** El mantenimiento predictivo conjuga una serie de técnicas instrumentadas y análisis de variables, que permiten caracterizar el estado de los equipos respecto a fallos potenciales existentes.

**MM3 Mantenimiento correctivo:** El mantenimiento correctivo es un proceso que consiste básicamente en dar solución inmediata a una falla en un equipo.

**MM4 Mantenimiento preventivo:** El mantenimiento preventivo es aquel que se realiza de forma previa, evitando en lo posible la ocurrencia de fallos, mediante de diferentes técnicas de monitoreo planificadas.

**MM5 Gestión del rendimiento:** Es un proceso que adopta una empresa con el objetivo de mantenerse productiva y competitiva, a través de medidas que garanticen la eficiencia de los empleados.

**MM6 Inspecciones:** Son las actividades de control de los procesos que tienen como finalidad, verificar el nivel de desempeño de los requisitos o exigencias.

### ■ Criterio 8: Ejecución de mantenimiento (EM)

**EM1 Sistemas de información:** Le permite a la organización de mantenimiento manejar de forma adecuada la información de mantenimiento como: registro de fallas, programación de mantenimiento, gastos, información sobre equipos, averías, etc.

**EM2 Información sobre averías:** Dentro de la información sobre averías se incluye la identificación a detalle de los desperfectos existentes, la causa del fallo y las sugerencias de solución.

**EM3 Documentos de mantenimiento:** Los documentos de mantenimiento recopilan información sobre el desempeño de los activos, el modelo de mantenimiento y los procedimientos que se realizan dentro de la empresa.

**EM4 Gestión de órdenes de trabajo:** Las órdenes de trabajo son documentos en los cuales se sintetizan las instrucciones para realizar determinadas actividades.

**EM5 Documentación y análisis de fallos, efectos y consecuencias:** Análisis de las fallas son procedimientos que revelan cuáles son los problemas frecuentes

en los equipos, la documentación generada permite obtener datos que sirven como retroalimentación en las actividades de mantenimiento.

■ **Criterio 9: Manejo de inventario de bodega de repuestos (MI)**

**MI1 Inventario valorado y etiquetado de ítems:** Un correcto etiquetado ayuda a que los repuestos sean ubicados de forma rápida, y conjuntamente con el inventario se logra una administración eficiente del movimiento y almacenamiento de los recursos existentes.

**MI2 Gestión de stocks:** Una adecuada gestión de stocks ayuda a la clasificación, ubicación y manejo de materiales; además, evita prolongar el tiempo de espera, garantizando así que el sistema funcione de forma eficiente.

## 6.2. Fase 2: Ponderación de los criterios y subcriterios de auditoría mediante el método (ANP)

Para la ponderación de los criterios y subcriterios de auditoría, se aplicó el método ANP, con el objetivo de establecer el nivel de importancia entre los criterios y subcriterios de auditoría. El procedimiento se sintetiza en cuatro pasos, como se presenta en la Figura 6.2.

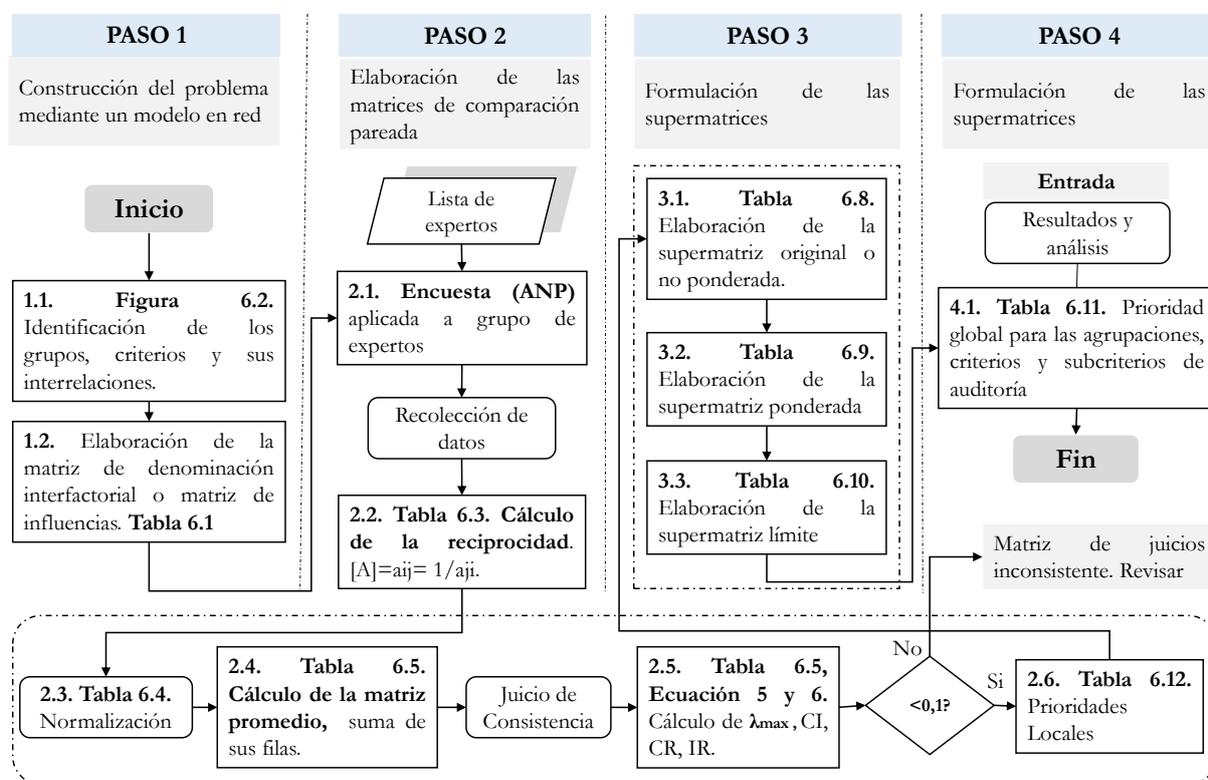


Figura 6.2: Marco esquemático del proceso ANP. Fuente: Autores.

- **Paso 1:** Construcción del problema mediante un modelo en red (ANP)

Para construir el modelo ANP (Figura 6.2, paso 1), con los criterios y subcriterios ya identificados se requirió la opinión de un equipo de gestores competentes para evitar la posible actitud sesgada de un único decisor, con el fin de determinar las relaciones y sus influencias entre los criterios y subcriterios en cada nivel de la red. Cabe señalar que los criterios deben ser agrupados en *clusters* y los subcriterios en elementos, por lo que, deben poseer una característica en común. En la Figura 6.3 se presenta la estructura de red genérica (es decir, criterios, subcriterios y relaciones) para cada uno de niveles en que se compone una organización, y se define el tipo de conexiones que existen entre ellos, como se detalla a continuación:

- **Primer nivel (objetivo principal)**

Se indica el objetivo principal del problema, que es la *priorización de los criterios y subcriterios de auditoría a la gestión de mantenimiento de activos físicos*. Este nivel no influye dentro de la red, por lo que se lo descarta en el análisis.

- **Nivel estratégico**

Se estableció cuatro criterios de auditoría. Aquí la alta dirección juega un rol importante al momento de definir una estrategia por lo que se lo ubica al criterio *organización general* dentro de este nivel. De igual la organización debe basarse en decisiones estratégicas para tercerizar las actividades mantenimiento, por lo que, el criterio *tercerización de mantenimiento* obedece a este nivel; la medición del rendimiento del mantenimiento es uno de los factores claves dentro de una organización, por ende, el criterio *Monitoreo financiero de mantenimiento y Kpis* se sitúa en este nivel. Finalmente, el empleo de herramientas estratégicas para analizar el nivel de criticidad (activos, áreas de trabajo, modos de fallo, etc.) es oportuno para cada organización, por ende, el criterio *Modelos de jerarquización basado en riesgos* se sitúa en este nivel.

- **Nivel táctico**

Se agrupó tres criterios tales como: *Talento humano, Procesos de programación, planificación de planes de mantenimiento y manejo de mantenimiento*; la justificación de su estructuración son las mismas que para el nivel estratégico.

- **Nivel operativo**

Se establecieron dos criterios, con la particularidad de que para el criterio *ejecución de mantenimiento* se determinó una conexión de dependencia interna; el subcriterio

## 6. Marco Experimental

*documentación y análisis de fallos efectos y consecuencias*, tiene influencia directa en la existencia del subcriterio *documentos de mantenimiento*, es decir, son interdependientes.

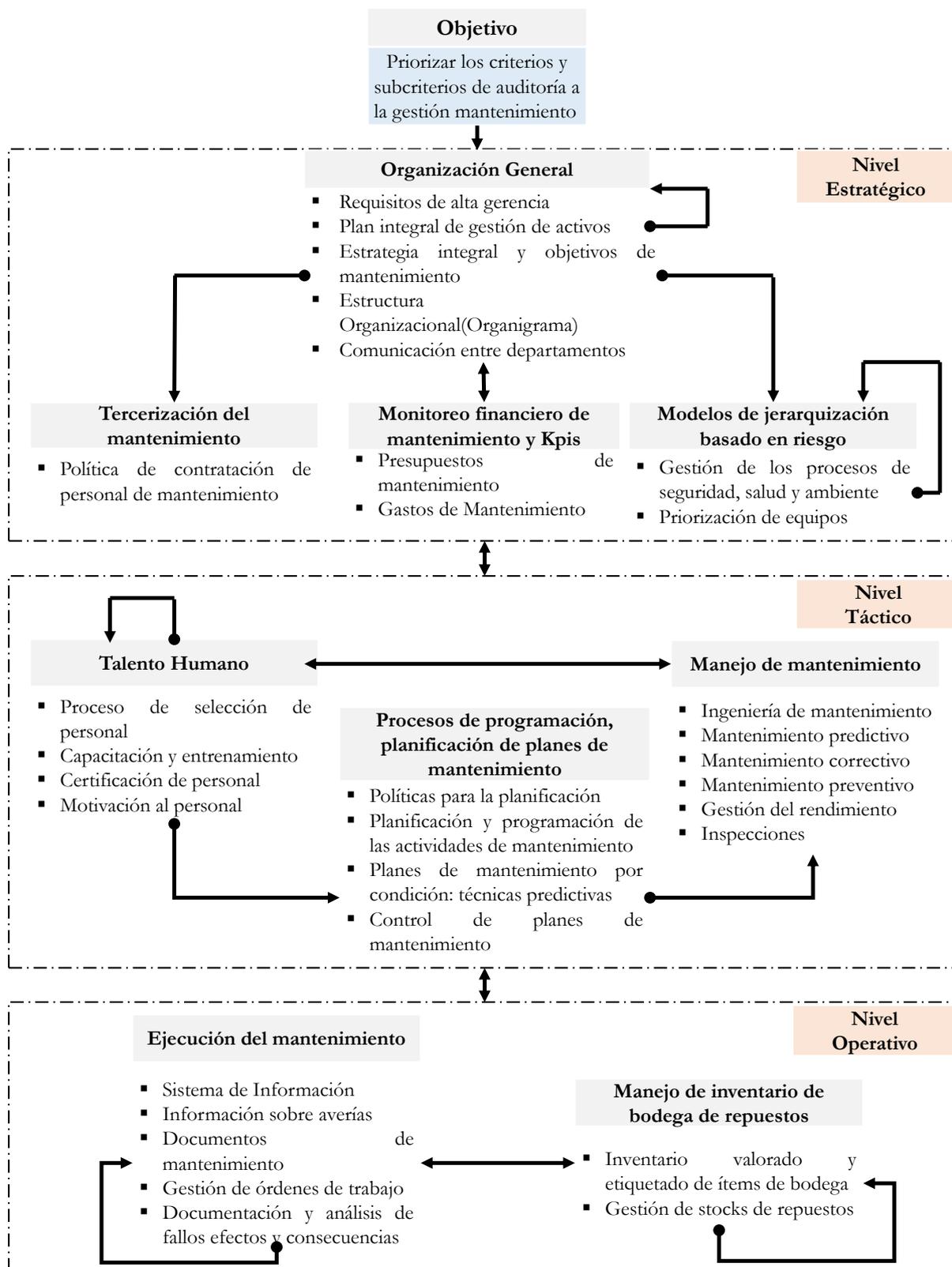


Figura 6.3: Modelo de red ANP. Fuente: Autores.

Luego de agrupar los criterios y subcriterios de auditoría en la red ANP, se elabora la matriz de denominación interfactorial tal como se presenta en la Tabla 6.1, el cual se basó en el análisis de las influencias que tiene cada subcriterio, con otro subcriterio de auditoría, acorde al modelo en red de la Figura 6.3. De manera que, cuando un subcriterio influye sobre otro se lo anota con el número uno, caso contrario, se lo anotará como cero.

**Tabla 6.1:** Matriz de denominación interfactorial o matriz de influencias. **Fuente:** Autores.

		OG					MF		TM	MJ		TH				PP				MM						EM					MI		
		OG1	OG2	OG3	OG4	OG5	MF1	MF2	TM1	MJ1	MJ2	TH1	TH2	TH3	TH4	PP1	PP2	PP3	PP4	MM1	MM2	MM3	MM4	MM5	MM6	EM1	EM2	EM3	EM4	EM5	MI1	MI2	
OG	OG1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	OG2	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	OG3	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	OG4	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	OG5	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
MF	MF1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
	MF2	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
TM	TM1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
MJ	MJ1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	MJ2	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
TH	TH1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	TH2	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	
	TH3	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	
	TH4	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PP	PP1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	PP2	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
	PP3	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	
	PP4	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
MM	MM1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	MM2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	
	MM3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	
	MM4	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	
	MM5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	MM6	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EM	EM1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	
	EM2	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	
	EM3	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	1	
	EM4	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	
	EM5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	
MI	MI1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	
	MI2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	

## 6. Marco Experimental

- **Paso 2:** Elaboración de las matrices de comparación pareada.

En esta etapa se establecen las prioridades entre los elementos que han presentado influencias, para ello, se elaboran encuestas en donde un grupo de expertos deberán valorar su importancia con respecto a cada criterio de auditoría. En la Tabla 6.2, se presenta una encuesta compuesta por los criterios de auditoría elaborado.

**Tabla 6.2:** Encuesta a expertos para la confección de las matrices. **Fuente:** Autores.

MATRIZ DE COMPARACIÓN PAREADA DE CRITERIOS PARA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO																			
CRITERIOS DE MANTENIMIENTO	Importancia									Importancia									CRITERIOS DE MANTENIMIENTO
	Extrema		Muy Fuerte		Fuerte		Moderada		Igual		Moderada		Fuerte		Muy Fuerte		Extrema		
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
OG: Organización General			X															MF: Monitoreo financiero de mantenimiento y KPIS	
									X									TM: Tercerización de actividades de mantenimiento	
			X															MJ: Modelos de jerarquización basado en riesgos	
														X				TH: Talento humano	
															X			PP: Procesos de programación, planificación y optimización de planes de mantenimiento	
							X											MM: Manejo de mantenimiento	
									X									EM: Ejecución de Mantenimiento	
MF: Monitoreo financiero de mantenimiento y KPIS											X						MI: Manejo de inventario de bodega de repuestos		
			X														TM: Tercerización de actividades de mantenimiento		
					X												MJ: Modelos de jerarquización basado en riesgos		
													X				TH: Talento humano		
									X								PP: Procesos de programación, planificación y optimización de planes de mantenimiento		
											X						MM: Manejo de mantenimiento		
													X				EM: Ejecución de Mantenimiento		
TM: Tercerización de actividades de mantenimiento														X			MI: Manejo de inventario de bodega de repuestos		
													X				MJ: Modelos de jerarquización basado en riesgos		
														X			TH: Talento humano		
									X								PP: Procesos de programación, planificación y optimización de planes de mantenimiento		
										X							MM: Manejo de mantenimiento		
MJ: Modelos de jerarquización basado en riesgos																	EM: Ejecución de Mantenimiento		
						X											MI: Manejo de inventario de bodega de repuestos		
													X				TH: Talento humano		
														X			PP: Procesos de programación, planificación y optimización de planes de mantenimiento		

## 6. Marco Experimental

MATRIZ DE COMPARACIÓN PAREADA DE CRITERIOS PARA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO																			
CRITERIOS DE MANTENIMIENTO	Importancia									Importancia									CRITERIOS DE MANTENIMIENTO
	Extrema		Muy Fuerte		Fuerte		Moderada		Igual		Moderada		Fuerte		Muy Fuerte		Extrema		
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
TH: Talento humano			X															PP: Procesos de programación, planificación y optimización de planes de mantenimiento	
		X																MM: Manejo de mantenimiento	
		X																EM: Ejecución de Mantenimiento	
					X													MI: Manejo de inventario de bodega de repuestos	
PP: Procesos de programación, planificación y optimización de planes de mantenimiento					X													MM: Manejo de mantenimiento	
											X							EM: Ejecución de Mantenimiento	
									X									MI: Manejo de inventario de bodega de repuestos	
MM: Manejo de mantenimiento								X										EM: Ejecución de Mantenimiento	
											X							MI: Manejo de inventario de bodega de repuestos	
EM: Ejecución de Mantenimiento			X															MI: Manejo de inventario de bodega de repuestos	

Previo al llenado de la matriz de comparación pareada, es necesario responder a la siguiente interrogante: ¿Cuán importante es el criterio organización general, frente a monitoreo financiero de mantenimiento y KPIS?, tras considerar que organización general tiene un valor *muy fuerte*, es señalada la casilla con el número *siete*, ubicado a la izquierda de la columna *igual*. De igual manera, al comparar el criterio organización general frente a tercerización de actividades de mantenimiento, se considera por parte de los expertos que los dos tienen un nivel similar de importancia, por lo que se ha marcado el número *uno*. Para el caso de los criterios organización general y talento humano, este último es considerado como un criterio *fuerte*, por lo que se marca con el número *cinco*.

### ■ Paso 3: Aplicación del modelo analítico en red ANP.

Para cada relación relevante entre criterios/subcriterios de auditoría definidos en la estructura de red, se construyó una matriz de comparación por pares. De acuerdo con la Ecuación 4, fueron elaboradas un total de 36 matrices de comparación pareada para un grupo de expertos. Esta cantidad es justificada a partir del número de interconexiones que fueron establecidos en la estructura de red, es decir, estas matrices corresponden a las relaciones que existen entre los diferentes criterios y subcriterios de auditoría. En el Anexo A.2, se presenta de manera explícita las relaciones y las matrices construidas.

Previo al cálculo de las diferentes matrices, es necesario calcular la relación de consistencia

de cada una de las matrices, para esto, en la Tabla 6.3, se presentan los resultados tabulados de la comparativa de clústers respecto a talento humano, misma que es completada a partir de las valoraciones emitidas por los expertos, con la cual se explicará la forma de realizar estos cálculos.

**Tabla 6.3:** Matriz de comparación pareada. **Fuente:** Autores.

MATRIZ DE COMPARACIÓN PAREADA							
	EM	MI	MM	MJ	MF	PP	TH
EM	1	2	2	3	1/2	2	2
MI	1/2	1	1	2	1/2	1	1/3
MM	1/2	1	1	1	1	1/3	1
MJ	1/3	1/2	1	1	1/2	1/2	1
MF	2	2	1	2	1	2	2
PP	1/2	1	3	2	1/2	1	2
TH	1/2	3	1	1	1/2	1/2	1
Suma	5,33	10,50	10,00	12,00	4,50	7,33	9,33

#### ■ Cálculo de la relación de consistencia

En este paso, se verificó la consistencia de la valoración de los decisores, con el objetivo de conocer si alguno de los criterios o subcriterios debe ser cambiado o mejorado. Para esto, la matriz de comparación por pares debe ser normalizada, previamente se realiza una suma de los valores de las columnas de la Tabla 6.3, luego, cada valor de la Tabla 6.3 debe ser dividido para la suma de la columna a la que pertenece la celda, obteniendo la matriz normalizada que se presenta en la Tabla 6.4

**Tabla 6.4:** Matriz normalizada. **Fuente:** Autores.

MATRIZ NORMALIZADA							
	EM	MI	MM	MJ	MF	PP	TH
EM	0,188	0,190	0,200	0,250	0,111	0,273	0,214
MI	0,094	0,095	0,100	0,167	0,111	0,136	0,036
MM	0,094	0,095	0,100	0,083	0,222	0,045	0,107
MJ	0,063	0,048	0,100	0,083	0,111	0,068	0,107
MF	0,375	0,190	0,100	0,167	0,222	0,273	0,214
PP	0,094	0,095	0,300	0,167	0,111	0,136	0,214
TH	0,094	0,286	0,100	0,083	0,111	0,068	0,107

Con los valores de la matriz normalizada, se procede a calcular el promedio de cada una de las filas, obteniendo así la matriz/vector promedio (ver Tabla 6.5). Tras multiplicar

la matriz de comparación pareada por la matriz/vector promedio, se obtiene el vector fila; finalmente, el vector cociente se obtiene al dividir el vector fila para la matriz/vector promedio, como se presenta en la Tabla 6.5.

**Tabla 6.5:** Matriz calculada. **Fuente:** Autores.

MATRIZ NORMALIZADA								Matriz promedio	Vector fila	Vector cociente
	EM	MI	MM	MJ	MF	PP	TH			
EM	0,188	0,190	0,200	0,250	0,111	0,273	0,214	0,204	1,548	7,602
MI	0,094	0,095	0,100	0,167	0,111	0,136	0,036	0,106	0,789	7,484
MM	0,094	0,095	0,100	0,083	0,222	0,045	0,107	0,107	0,791	7,417
MJ	0,063	0,048	0,100	0,083	0,111	0,068	0,107	0,083	0,621	7,502
MF	0,375	0,190	0,100	0,167	0,222	0,273	0,214	0,220	1,673	7,598
PP	0,094	0,095	0,300	0,167	0,111	0,136	0,214	0,160	1,205	7,552
TH	0,094	0,286	0,100	0,083	0,111	0,068	0,107	0,121	0,919	7,577
									$\lambda_{max}$	<b>7,533</b>

Este procedimiento es realizado para obtener el valor de  $\lambda_{max}$ , el cuál resulta del cálculo del promedio de la columna del vector cociente, con este valor es posible obtener el índice de consistencia CI, de acuerdo con la Ecuación 2.

$$CI = \frac{7,533 - 7}{7 - 1} = 0,088 \quad (5)$$

Por último, la relación de consistencia es calculada a partir de la Ecuación 3, y el valor de RI, es extraído de la Tabla 5.11, para  $n = 7$ , con lo cual obtenemos:

$$CR = \frac{0,088}{1,32} = 0,067 \quad (6)$$

Se obtuvo una relación de consistencia de 6,7%, que al ser menor a 10% que es el porcentaje máximo permitido (Tabla 6.6), de acuerdo al tamaño de la matriz de comparación en análisis, se verifica que esta cumple con los parámetros de relación de consistencia.

**Tabla 6.6:** Relación de consistencia. **Fuente:** [233]

Tamaño de la matriz (n)	Relación de consistencia
3	5 %
4	9 %
5 o mayor	10 %

Previo a la ponderación de los pesos de los criterios y subcriterios, se torna indispensable verificar que los valores de CR de las matrices de comparación pareada, no excedan al límite máximo permitido (10%), para ello se aplicó el procedimiento antes descrito para cada una de las matrices. En la Tabla 6.7 se presentan los valores de relación de consistencia calculados para las matrices de comparación pareada de los quince encuestados.

**Tabla 6.7:** Relación de consistencia. **Fuente:** Autores.

Relación de consistencia			
<b>Encuestado 1</b>	8,40 %	<b>Encuestado 9</b>	4,01 %
<b>Encuestado 2</b>	3,45 %	<b>Encuestado 10</b>	3,18 %
<b>Encuestado 3</b>	5,51 %	<b>Encuestado 11</b>	7,25 %
<b>Encuestado 4</b>	10 %	<b>Encuestado 12</b>	1,67 %
<b>Encuestado 5</b>	8,08 %	<b>Encuestado 13</b>	2,50 %
<b>Encuestado 6</b>	9,09 %	<b>Encuestado 14</b>	1,26 %
<b>Encuestado 7</b>	8,71 %	<b>Encuestado 15</b>	6,42 %
<b>Encuestado 8</b>	7,39 %		

#### ■ Cálculo de los pesos de los criterios y subcriterios

Con base en la matriz de denominación interfactorial, se construyó la matriz original, para esto, se cambia las notaciones de uno y cero, por valores que indican la importancia de cada una de las influencias, como se presenta en la Tabla 6.8, estos valores son los vectores de prioridad de los elementos de la red, que fueron calculados en el paso anterior, y son colocados en la columna derecha de la supermatriz.

Cada columna de la matriz original no está normalizada o es igual a uno, por lo que para que se produzca convergencia la supermatriz original debe ser convertida en una supermatriz estocástica, es decir, la suma de los valores de las columnas deben ser igual a la unidad, esta tarea se realiza con la finalidad de que las potencias sucesivas de la matriz original converjan, con lo que se obtiene la matriz ponderada que se presenta en la Tabla 6.9.

La matriz ponderada se eleva a potencias límite hasta que los pesos de los elementos converjan a pesos estables de prioridad global. De este modo, todos los efectos de interdependencia en la red se reflejan en el vector de prioridad global de la supermatriz límite de la Tabla 6.10, e indican la dominancia relativa de un subcriterio de auditoría sobre otro en la red ANP.

En la Tabla 6.8, se presenta la matriz original donde cada uno de los valores representan los pesos para cada uno de los criterios.

**Tabla 6.8:** Matriz Original. **Fuente:** Autores.

		OG					MF		TM	MJ		TH				PP				MI	
		OG1	OG2	OG3	OG4	OG5	MF1	MF2	TM1	MJ1	MJ2	TH1	TH2	TH3	TH4	PP1	PP2	PP3	PP4	MI1	MI2
OG	OG1	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
	OG2	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.80000	0.63484	0.33252	0.00000	0.00000
	OG3	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.20000	0.28720	0.13965	0.00000	0.00000
	OG4	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.52784	0.00000	0.00000
	OG5	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.07796	0.00000	0.00000	0.00000
MF	MF1	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.50000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.50000	0.00000	0.00000
	MF2	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.50000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.50000	0.00000	0.00000
TM	TM1	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	1.000	0.00000
MJ	MJ1	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	1.000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
	MJ2	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	1.000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
TH	TH1	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.09739	0.00000	0.00000	0.00000	0.61441	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.10065
	TH2	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.50000	0.33307	0.66667	0.80000	0.75000	0.26837	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.67381
	TH3	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.50000	0.56954	0.33333	0.20000	0.25000	0.11722	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.66667	0.22554
	TH4	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.33333	0.00000
PP	PP1	0.00000	0.40178	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.53683	0.12902	0.00000	...	0.00000	0.00000
	PP2	0.75000	0.21421	0.33333	0.00000	0.00000	0.11615	0.83333	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.62501	0.09888	0.48500	0.00000	0.62501	0.00000
	PP3	0.25000	0.08257	0.66667	0.00000	0.00000	0.73751	0.16667	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.23849	0.36429	0.27327	0.00000	0.23849	0.00000
	PP4	0.00000	0.30144	0.00000	0.00000	0.00000	0.14634	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.13650	0.00000	0.11270	0.00000	0.13650	0.00000
MM	MM1	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.44067	0.00000
	MM2	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.68698	0.13650	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.14765	0.00000	0.00000	0.00000	0.15127	0.00000
	MM3	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.18648	0.23849	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.14765	0.00000	0.00000	0.00000	0.15127	0.00000
	MM4	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.12654	0.62501	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.05600	0.00000	0.00000	0.00000	0.08132	0.00000
	MM5	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
	MM6	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.64870	0.00000	0.00000	0.00000	0.17546	0.00000
EM	EM1	1.000	0.00000	0.26837	0.00000	0.00000	0.40285	0.29818	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.68698	0.00000	0.00000	0.00000
	EM2	0.00000	0.66667	0.00000	0.00000	0.15833	0.07388	0.20705	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.71723	0.18648	0.00000	0.00000	0.00000
	EM3	0.00000	0.00000	0.11722	0.83333	0.60433	0.26704	0.14530	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.08808	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
	EM4	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.12248	0.07847	0.12414	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.19469	0.12654	0.00000	0.00000	0.00000
	EM5	0.00000	0.33333	0.61441	0.16667	0.11486	0.17776	0.22532	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
MI	MI1	0.66667	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	1.000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.50000	0.00000
	MI2	0.33333	1.000	1.000	1.000	0.00000	0.00000	1.000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.50000	0.00000

La súper matriz original debe ser convertida en una matriz estocástica por columnas, como se presenta en la Tabla 6.9.

**Tabla 6.9:** Matriz Ponderada. **Fuente:** Autores.

		OG					MF		TM	MJ		TH				PP				MI	
		OG1	OG2	OG3	OG4	OG5	MF1	MF2	TM1	MJ1	MJ2	TH1	TH2	TH3	TH4	PP1	PP2	PP3	PP4	MI1	MI2
OG	OG1	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
	OG2	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.50136	0.39785	0.07003	0.00000	0.00000
	OG3	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.12534	0.17999	0.02941	0.00000	0.00000
	OG4	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.11117	0.00000	0.00000
	OG5	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.04886	0.00000	0.00000	0.00000
MF	MF1	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.02202	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.39470	0.00000	0.00000
	MF2	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.02202	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.39470	0.00000	0.00000
TM	TM1	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.11280	0.00000
MJ	MJ1	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.22554	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
	MJ2	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
TH	TH1	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.09739	0.00000	0.00000	0.00000	0.61441	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.10065
	TH2	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.50000	0.33307	0.66667	0.80000	0.75000	0.26837	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.67381
	TH3	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.50000	0.56954	0.33333	0.20000	0.25000	0.11722	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.36902	0.22554
	TH4	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.18451	0.00000
PP	PP1	0.00000	0.09203	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.05026	0.01208	0.00000	...	0.00000	0.00000
	PP2	0.17179	0.04906	0.07635	0.00000	0.00000	0.01858	0.13946	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.06291	0.00926	0.04540	0.00000	0.05439	0.00000
	PP3	0.05726	0.01891	0.15270	0.00000	0.00000	0.11799	0.02789	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.02400	0.03410	0.02558	0.00000	0.02075	0.00000
	PP4	0.00000	0.06904	0.00000	0.00000	0.00000	0.02341	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.01374	0.00000	0.01055	0.00000	0.01188	0.00000
MM	MM1	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.08375	0.00000
	MM2	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.05718	0.01189	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.09949	0.00000	0.00000	0.00000	0.02875	0.00000
	MM3	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.01552	0.02076	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.09949	0.00000	0.00000	0.00000	0.02875	0.00000
	MM4	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.01053	0.05442	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.03773	0.00000	0.00000	0.00000	0.01546	0.00000
	MM5	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
	MM6	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.43710	0.00000	0.00000	0.00000	0.03335	0.00000
EM	EM1	0.69552	0.00000	0.18666	0.00000	0.00000	0.20145	0.15598	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.19214	0.00000	0.00000	0.00000
	EM2	0.00000	0.46368	0.00000	0.00000	0.15833	0.03694	0.10831	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.20060	0.05216	0.00000	0.00000	0.00000
	EM3	0.00000	0.00000	0.08153	0.75180	0.60433	0.13354	0.07601	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.02463	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
	EM4	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.12248	0.03924	0.06494	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.05445	0.03539	0.00000	0.00000	0.00000
	EM5	0.00000	0.23184	0.42734	0.15036	0.11486	0.08889	0.11787	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
MI	MI1	0.05029	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.21268	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.02830	0.00000
	MI2	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000



## 6. Marco Experimental

Una vez desarrollada las matrices de comparación pareada y extraídas las matrices del modelado, se obtiene la prioridad para cada subcriterio, como se presenta en la Tabla 6.11.

**Tabla 6.11:** Prioridades del problema de decisión

Criterios	Subcriterios	Clúster Normalizado	Prioridad Global
OG: Organización general	OG1: Requisitos de alta gerencia	0,01877	0,001217
	OG2: Plan integral de gestión de activos	0,56223	0,036448
	OG3: Estrategia integral y objetivos de mantenimiento	0,38651	0,025056
	OG4: Estructura organizacional (organigrama)	0,00793	0,000514
	OG5: Comunicación entre departamentos	0,02456	0,001592
<b>Suma</b>		1	0,064827
MF: Monitoreo financiero de mantenimiento y KPIS	MF1: Gastos de mantenimiento	0,5646	0,020836
	MF2: Presupuestos de mantenimiento	0,4354	0,016068
<b>Suma</b>		1	0,036904
TM: Tercerización de actividades de mantenimiento	TM1: Política de contratación de personal de mantenimiento	0,15121	0,037504
<b>Suma</b>		0,15121	0,037504
MJ: Modelos de jerarquización basado en riesgos	MJ1: Gestión de los procesos de seguridad, salud y medio ambiente	0,28618	0,006326
	MJ2: Priorización de equipos (criticidad)	0,71382	0,015779
<b>Suma</b>		1	0,022105
TH: Talento humano	TH1: Proceso de selección de personal	0,23261	0,057691
	TH2: Capacitación y entrenamiento	0,25175	0,06244
	TH3: Certificación de personal	0,21318	0,052873
	TH4: Motivación al personal	0,15124	0,037511
<b>Suma</b>		0,84878	0,210515
PP: Procesos de programación, planificación y optimización de planes de mantenimiento	PP1: Políticas para la planificación	0,184740	0,015695
	PP2: Planificación y programación de actividades de mantenimiento	0,39447	0,033512
	PP3: Planes de mantenimiento por condición: técnicas predictivas	0,26201	0,022259
	PP4: Control de los planes de mantenimiento	0,15878	0,013489
<b>Suma</b>		1	0,084955
MM: Manejo de mantenimiento	MM1: Ingeniería de mantenimiento	0,23115	0,012544
	MM2: Mantenimiento predictivo	0,22844	0,012397
	MM3: Mantenimiento preventivo	0,19717	0,0107
	MM4: Mantenimiento correctivo	0,11423	0,006199
	MM5: Gestión del rendimiento	0,00418	0,000227
	MM6: Inspecciones	0,22481	0,0122
<b>Suma</b>		1	0,054267
EM: Ejecución de mantenimiento	EM1: Sistemas de información	0,20667	0,088402
	EM2: Información sobre averías	0,22584	0,096602
	EM3: Documentos de mantenimiento	0,33371	0,142744
	EM4: Gestión de órdenes de trabajo	0,04517	0,019321
	EM5: Documentación y análisis de fallos, efectos y consecuencias	0,18861	0,080676
<b>Suma</b>		1	0,427745
MI: Manejo de inventario de bodega de repuestos	MI1: Inventario valorado y etiquetado de ítems de bodega	0,4086	0,024998
	MI2: Gestión de stocks de repuestos	0,5914	0,036181
<b>Suma</b>		1	0,061179

## 6. Marco Experimental

De acuerdo a la Tabla 6.11, la columna denominada *Clúster Normalizado*, representa las prioridades de cada subcriterio de auditoría perteneciente a cada criterio, por lo tanto, la suma de sus pesos con respecto a cada criterio debe sumar uno; de igual forma, la columna denominada *prioridad global* se refiere a los pesos de todos los subcriterios de auditoría de manera global y en función al problema u objetivo principal que se presentó, de igual manera, la suma de toda la columna debe sumar uno. Cabe señalar que el criterio *tercerización de actividades de mantenimiento* es diferente de uno, puesto que algunos componentes de la red influyen sobre el subcriterio al cual pertenece el criterio de talento humano TH, por consiguiente, se reparten los pesos y la suma de sus valores da como resultado el valor de uno.

Los resultados de la aplicación del método ANP de los criterios de auditoría se presentan en la Tabla 6.12. Según la opinión de los expertos, el criterio con mayor peso agregado es *Talento Humano* con el 30%, seguido por *ejecución de mantenimiento* con el 21% y en tercer lugar se encuentra la *organización general* con el 12%; el criterio con menor ponderación es *Modelos de jerarquización basado en riesgos* con el 4%. Cabe indicar que la matriz ya está normalizada, por lo tanto, la suma de los criterios de cada columna debe sumar uno. La columna denominada *promedio*, indica el valor o ponderación final para cada criterio de auditoría, de acuerdo a las influencias o relaciones que presentaron en el modelo de red ANP de la Figura 6.3.

**Tabla 6.12:** Matriz normalizada de criterios de auditoría

Criterios	OG	MF	TM	MJ	TH	PP	MM	EM	MI	Prom	%
Organización General	0,03	0,63	0	0	0	0,43	0	0	0	<b>0,12</b>	<b>12 %</b>
Monitoreo financiero de mantenimiento y KPIS	0,13	0	0	0	0,18	0,07	0	0	0,04	<b>0,05</b>	<b>5 %</b>
Tercerización de actividades de mantenimiento	0,36	0	0	0	0,07	0	0	0	0	<b>0,05</b>	<b>5 %</b>
Modelos de Jerarquización basado en riesgos	0,09	0	0	0,23	0,05	0	0	0	0	<b>0,04</b>	<b>4 %</b>
Talento Humano	0,35	0	1	0	0,35	0	1	0	0	<b>0,30</b>	<b>30 %</b>
Procesos de programación, planificación y optimización de planes de mantenimiento	0,04	0,09	0	0,10	0,06	0	0	0,23	0,16	<b>0,08</b>	<b>8 %</b>
Manejo de mantenimiento	0	0	0	0,67	0,12	0,06	0	0	0,08	<b>0,10</b>	<b>10 %</b>
Ejecución de mantenimiento	0	0,28	0	0	0,13	0,30	0	0,70	0,50	<b>0,21</b>	<b>21 %</b>
Manejo de inventario de bodega de repuestos	0	0	0	0	0,04	0,14	0	0,08	0,21	<b>0,05</b>	<b>5 %</b>

## 6. Marco Experimental

- **Paso 4:** Determinación del factor de ponderación de los criterios de auditoría.

Los resultados de la aplicación del método ANP se presentan en la Tabla 6.13, en donde se obtienen los pesos para los diferentes criterios y subcriterios de auditoría.

**Tabla 6.13:** Pesos de los criterios y subcriterios. **Fuente:** Autores.

NIVEL ESTRATÉGICO					
Criterios		Peso	Subcriterios		Peso
OG	Organización General	12 %	OG1	• Requisito de alta gerencia	0,019
			OG2	• Plan integral de gestión de activos	0,562
			OG3	• Estrategia integral y objetivos de mantenimiento	0,387
			OG4	• Estructura Organizacional(organigrama)	0,008
			OG5	• Comunicación entre departamentos	0,025
MF	Monitoreo Financiero de mantenimiento y KPIS	5 %	MF1	• Presupuestos de mantenimiento	0,565
			MF2	• Gastos de mantenimiento	0,435
TM	Tercerización del mantenimiento	5 %	TM1	• Política de contratación de personal de mantenimiento	0,151
MJ	Modelos de jerarquización basado en riesgos	4 %	MJ1	• Gestión de los procesos de seguridad, salud y ambiente	0,286
			MJ2	• Priorización de equipos	0,714
NIVEL TÁCTICO					
TH	Talento Humano	30 %	TH1	• Proceso de selección de personal	0,233
			TH2	• Capacitación y entrenamiento	0,252
			TH3	• Certificación de personal	0,213
			TH4	• Motivación al personal	0,151
PP	Procesos de programación, planificación de planes de mantenimiento	8 %	PP1	• Políticas para la planificación	0,185
			PP2	• Planificación y programación de actividades de mantenimiento	0,394
			PP3	• Planes de mantenimiento por condición: técnicas predictivas	0,262
			PP4	• Control de los planes de mantenimiento	0,159
MM	Manejo de mantenimiento	10 %	MM1	• Ingeniería de Mantenimiento	0,231
			MM2	• Mantenimiento predictivo	0,228
			MM3	• Mantenimiento correctivo	0,197
			MM4	• Mantenimiento preventivo	0,114
			MM5	• Gestión del rendimiento	0,004
			MM6	• Inspecciones	0,225
NIVEL OPERATIVO					
EM	Ejecución del mantenimiento	21 %	EM1	• Sistemas de información	0,207
			EM2	• Información sobre averías	0,226
			EM3	• Documentos de mantenimiento	0,334
			EM4	• Gestión de órdenes de trabajo	0,045
			EM5	• Documentación y análisis de fallos, efectos y consecuencias	0,189
MI	Manejo de inventario de bodega de repuestos	5 %	MI1	• Inventario valorado y etiquetado de ítems de bodega	0,409
			MI2	• Gestión de stocks de bodega de repuestos	0,591

### **6.3. Fase 3: Elaboración del instrumento de evaluación**

#### **6.3.1. Identificación de los componentes del instrumento de evaluación**

El instrumento de evaluación se estructuró como un cuestionario con respuestas cerradas. Las preguntas fueron elaboradas en base a los criterios y subcriterios de auditoría establecidos previamente para los niveles estratégico, táctico y operativo.

Este cuestionario fue validado mediante el método de encuestas; para ello, quince expertos de mantenimiento indicaron la aceptación o rechazo de las preguntas. Los datos recolectados de esta encuesta, permitieron verificar la consistencia interna del cuestionario, es decir, se comprobó la correlación existente entre las diferentes preguntas a partir de la Ecuación 1, donde el coeficiente Alpha de Cronbach ( $\alpha$ ), es considerado aceptable cuando alpha es mayor a 0,7 y para los valores de ( $\alpha$ ) inferiores a 0.7, es válido considerar el retirar o modificar la pregunta que presente un valor inferior al establecido.

El cálculo fue realizado para cada uno de los criterios y subcriterios tal como se presenta en el Anexo A.1.4, donde se identificó que el criterio monitoreo financiero de mantenimiento y KPIS, presenta inconsistencia, pues el coeficiente ( $\alpha$ ), no se encuentra dentro de los rangos establecidos, por lo que se procede a retirar la pregunta tres, que obtuvo catorce votos en contra y uno a favor por parte de los encuestados, evidenciando con esto que no existe correlación con las dos preguntas previas.

Con la pregunta tres eliminada del criterio monitoreo financiero de mantenimiento y KPIS, se procedió a calcular nuevamente el coeficiente alpha de cronbach para las dos preguntas restantes, obteniendo un valor de  $\alpha = 0,7310$ , considerado como aceptable. Este cálculo fue llevado a cabo para todos los criterios y subcriterios, a fin de verificar que el coeficiente ( $\alpha$ ), cumpla con los requerimientos exigidos.

Una vez verificados los cálculos del coeficiente Alpha de Cronbach, se establecieron un total de treinta y uno preguntas, las cuales se evaluarán conforme niveles de exigencia que permitan constatar su rango de calificación y nivel de prioridad.

#### **6.3.2. Determinación de los niveles de exigencias**

A partir de los criterios y subcriterios ponderados, se procede con la determinación de los niveles de exigencia para los elementos a ser auditados. En la Tabla 6.14 se presenta los niveles de exigencia representadas por escalas cualitativas, por medio de las cuales se procederá a calificar. Del mismo modo, se elabora el cuestionario o instrumento de

evaluación (Tabla 6.25), acorde a los niveles de exigencias y al contexto de la organización.

**Tabla 6.14:** Niveles de exigencia. **Fuente:** Autores.

	NIVELES DE REFERENCIA	
	Tipo de auditoría:	Externa
Nivel	Puntuación	Descripción
Proceso muy deficiente	0	Ausente, La organización no cumple, en lo absoluto con lo solicitado. No existen elementos suficientes en la empresa para administrar el mantenimiento de los activos.
Proceso debajo del promedio	0,40	Está escrito, pero no se hace en gran parte. Existe evidencia que cumple en cierta parte al subcriterio planteado.
Proceso estándar promedio	0,75	Cumple. Existe evidencia que certifica en gran parte a la exigencia del subcriterio evaluado
Proceso de muy buenas prácticas	1	Existe evidencia en base al subcriterio. Está escrito, documentado correctamente y corresponde a lo que se hace en la práctica

Previa a la aplicación del instrumento de evaluación, cabe señalar, que para la calificación de cada subcriterio se procede al siguiente nivel, sí y solo sí, se ha cumplido con el nivel anterior. Es decir, para pasar al nivel de *Proceso de muy buenas prácticas*, previamente se deberá cumplir con los niveles anteriores. En la Tabla 6.15 se presenta los niveles de cumplimiento para la elaboración de los planes de acción, de acuerdo a la puntuación y los resultados de la evaluación.

**Tabla 6.15:** Niveles de cumplimiento. **Fuente:** Adaptado de [14].

Nivel de Cumplimiento	Rango de Calificación	Nivel de Prioridad	Semáforo
Conformidad (C)	$75 < C \leq 1$	Bajo	
No conformidad menor (NC m)	$40 < C \leq 0,75$	Medio	
No conformidad mayor (NC M)	$C \leq 0,40$	Alto	

### 6.3.3. Elaboración del umbral de desempeño

Una vez identificado los niveles de exigencia, se elabora el umbral de desempeño (Tabla 6.16), la cual consiste en un rango de desempeño ideal previamente establecido, con el objetivo de medir el grado de cumplimiento bajo el cual la organización deberá realizar la mejora en base a una puntuación ideal o base propuesta en la investigación.

Cada criterio y subcriterio de auditoría, deberá cumplir con un nivel exigencia acorde al peso que se le ha determinado a cada uno de ellos(criterios).

Tabla 6.16: Umbral de desempeño. Fuente: Autores

Criterios	Pesos	Subcriterios	Pesos	UMBRAL DE DESEMPEÑO											
				Proceso muy deficiente		Proceso debajo del promedio		Proceso estándar promedio		Proceso de muy buenas prácticas					
OG: Organización general	0,12	Requisitos de alta gerencia	0,019	0	0	0,4	0,008	0,0480	0,75	0,014	0,0900	1	0,019	0,1200	
		Plan integral de gestión de activos	0,562	0	0	0,4	0,225		0,75	0,422		1	0,562		
		Estrategia integral y objetivos de mantenimiento	0,387	0	0	0,4	0,155		0,75	0,290		1	0,387		
		Estructura organizacional (organigrama)	0,008	0	0	0,4	0,003		0,75	0,006		1	0,008		
		Comunicación entre departamentos	0,025	0	0	0,4	0,010		0,75	0,018		1	0,025		
		SUMA	0	SUMA	0,40	SUMA	0,75		SUMA	1,00					
MF: Monitoreo financiero de mantenimiento y KPIS	0,05	Gastos de mantenimiento	0,565	0	0	0,4	0,23	0,0200	0,75	0,42	0,0375	1	0,565	0,0500	
		Presupuestos de mantenimiento	0,435	0	0	0,4	0,17		0,75	0,33		1	0,435		
		SUMA	0	SUMA	0,40	SUMA	0,75		SUMA	1,00					
TM: Tercerización de actividades de mantenimiento	0,05	Política de contratación de personal de mantenimiento	0,151	0	0	0,4	0,060	0,0200	0,75	0,113	0,0375	1	0,151	0,0500	
		SUMA	0	SUMA	0,06	SUMA	0,11		SUMA	0,15					
MJ: Modelos de jerarquización basado en riesgos	0,04	Gestión de los procesos de seguridad, salud y medio ambiente	0,286	0	0	0,4	0,114	0,0164	0,75	0,215	0,0308	1	0,286	0,0410	
		Priorización de equipos (criticidad)	0,714	0	0	0,4	0,286		0,75	0,535		1	0,714		
		SUMA	0	SUMA	0,40	SUMA	0,75		SUMA	1,00					
TH: Talento humano	0,30	Proceso de selección de personal	0,233	0	0	0,4	0,093	0,120	0,75	0,174	0,2250	1	0,233	0,3000	
		Capacitación y entrenamiento	0,252	0	0	0,4	0,101		0,75	0,189		1	0,252		
		Certificación de personal	0,213	0	0	0,4	0,085		0,75	0,160		1	0,213		
		Motivación al personal	0,151	0	0	0,4	0,060		0,75	0,113		1	0,151		
		SUMA	0	SUMA	0,34	SUMA	0,64		SUMA	0,85					
PP: Procesos de programación, planificación y optimización de planes de mantenimiento	0,08	Políticas para la planificación	0,185	0	0	0,4	0,074	0,0301	0,75	0,14	0,0565	1	0,185	0,0753	
		Planificación y programación de actividades de mantenimiento	0,394	0	0	0,4	0,158		0,75	0,30		1	0,394		
		Planes de mantenimiento por condición: técnicas predictivas	0,262	0	0	0,4	0,105		0,75	0,20		1	0,262		
		Control de los planes de mantenimiento	0,159	0	0	0,4	0,064		0,75	0,12		1	0,159		
		SUMA	0	SUMA	0,40	SUMA	0,75		SUMA	1,00					
MM: Manejo de mantenimiento	0,10	Ingeniería de mantenimiento	0,231	0	0	0,4	0,092	0,0415	0,75	0,173	0,0778	1	0,231	0,1037	
		Mantenimiento predictivo	0,228	0	0	0,4	0,091		0,75	0,171		1	0,228		
		Mantenimiento preventivo	0,197	0	0	0,4	0,079		0,75	0,148		1	0,197		
		Mantenimiento correctivo	0,114	0	0	0,4	0,046		0,75	0,086		1	0,114		
		Gestión del rendimiento	0,004	0	0	0,4	0,002		0,75	0,003		1	0,004		
		Inspecciones	0,225	0	0	0,4	0,090		0,75	0,169		1	0,225		
SUMA	0	SUMA	0,40	SUMA	0,75	SUMA	1,00								
EM: Ejecución de mantenimiento	0,21	Sistemas de información	0,207	0	0	0,4	0,083	0,0848	0,75	0,155	0,1589	1	0,207	0,2119	
		Información sobre averías	0,226	0	0	0,4	0,090		0,75	0,169		1	0,226		
		Documentos de mantenimiento	0,334	0	0	0,4	0,133		0,75	0,250		1	0,334		
		Gestión de órdenes de trabajo	0,045	0	0	0,4	0,018		0,75	0,034		1	0,045		
		Documentación y análisis de fallos, efectos y consecuencias	0,189	0	0	0,4	0,075		0,75	0,141		1	0,189		
SUMA	0	SUMA	0,40	SUMA	0,75	SUMA	1,00								
MI: Manejo de inventario de bodega de repuestos	0,05	Inventario valorado y etiquetado de ítems de bodega	0,409	0	0	0,4	0,163	0,0206	0,75	0,306	0,0386	1	0,41	0,0515	
		Gestión de stocks de repuestos	0,591	0	0	0,4	0,237		0,75	0,444		1	0,59		
		SUMA	0	SUMA	0,40	SUMA	0,75		SUMA	1,00					
Valores en porcentaje del umbral de desempeño				0	0,40	0,75	1								

## 6.4. Fase 4: Validación del modelo de auditoría, aplicando al caso de estudio

A partir de esta fase se valida el modelo de auditoría aplicando al caso de estudio.

### 6.4.1. Datos preliminares de los laboratorios del área de Mecánica de la Universidad Politécnica Salesiana, Sede Cuenca

El caso de estudio el cual se aplicó el modelo de auditoría a la gestión de mantenimiento de activos físicos, fue en los laboratorios del área mecánica de la Universidad Politécnica Salesiana de la sede Cuenca. Los datos informativos se presentan en la Tabla 6.17.

**Tabla 6.17:** Datos informativos de la organización. **Fuente:** Autores.

TEMA	DESCRIPCIÓN
Organización a Auditar	Laboratorios del área ingeniería mecánica de la Universidad Politécnica Salesiana
Dirección	Calle Vieja 12-30 y, Cuenca 010105
Ciudad	Cuenca
Localización Geográfica	
Teléfono	(07) 413-5250
Horario de trabajo	Horario General: 07h00 - 22h00 Horario de laboratorios: 07h00 - 18h00

### 6.4.2. Misión

La Universidad Politécnica Salesiana es una institución de educación superior humanística y politécnica, de inspiración cristiana con carácter católico e índole salesiana; dirigida de manera preferencial a jóvenes de los sectores populares; busca formar “honrados ciudadanos y buenos cristianos”, con excelencia humana y académica.

### 6.4.3. Visión

Al 2023, la universidad politécnica salesiana es una institución de educación superior de referencia en la búsqueda de la verdad y el desarrollo de la cultura, de la investigación

científica y tecnológica; reconocida socialmente por su calidad en la academia y producción científica, por su responsabilidad social universitaria y por su capacidad de incidencia en la innovación, interculturalidad y el desarrollo.

### 6.5. Proceso de auditoría

A continuación, de manera mas detallada (Figura 6.4) se presenta el proceso para llevar a cabo la auditoría a la gestión de mantenimiento de activos físicos. Cabe destacar, que el proceso de auditoría, comparte seis fases siguiendo un orden lógico específico; cada una de estas fases está compuesto por un conjunto de actividades que se realizaron de manera conjunta, con la finalidad de dar cumplimiento y validez al modelo de auditoría de la Figura 6.1.

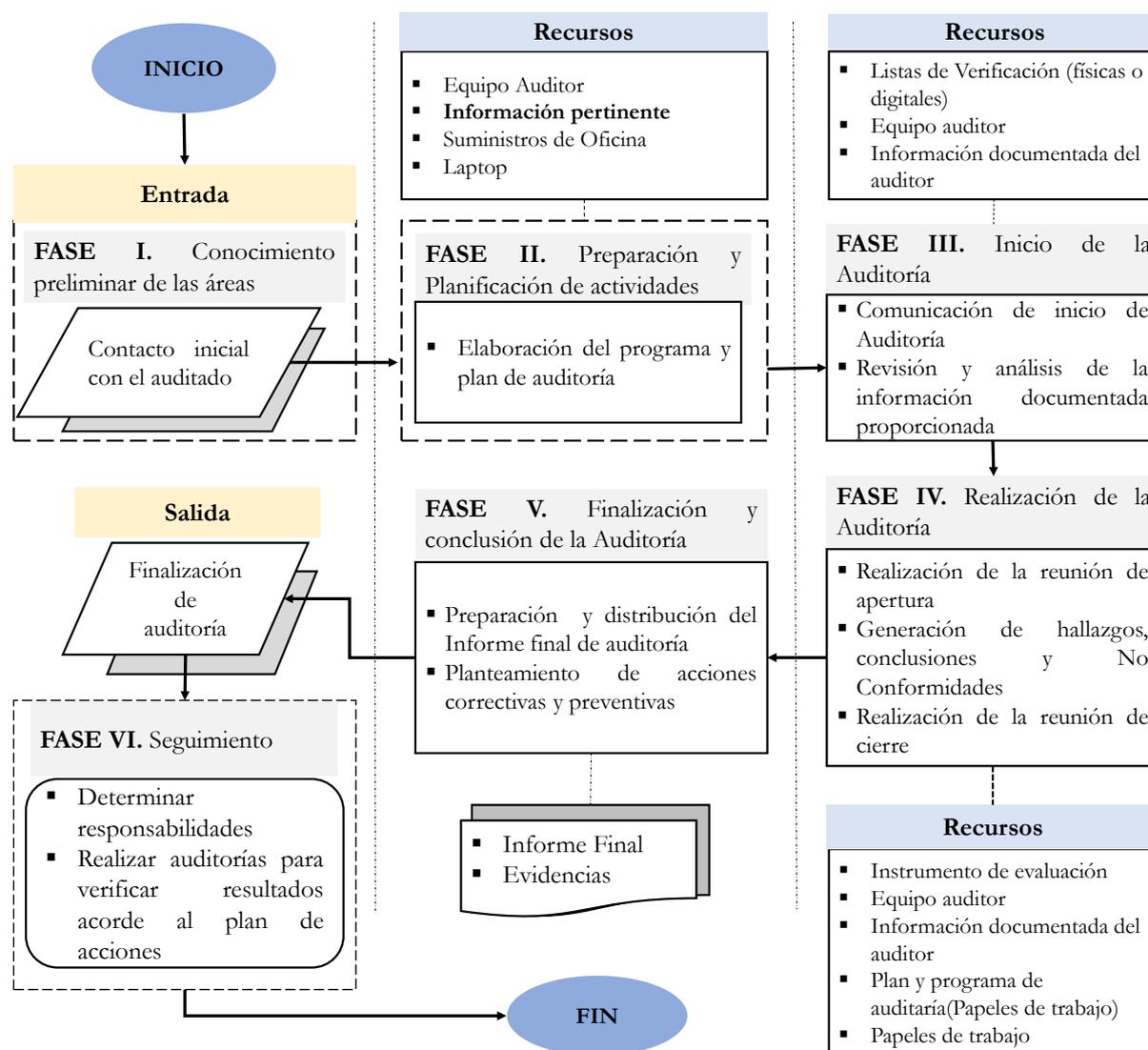


Figura 6.4: Proceso de auditoría. Fuente: Autores.

### 6.5.1. Fase 1: Conocimiento preliminar de las áreas a auditar

Esta fase obedece a lo siguiente: “Conocimiento preliminar de las áreas a auditar”, y consiste en obtener un conocimiento integral de las áreas a auditar, dando mayor énfasis a las actividades principales que se realizan en los laboratorios. Al tener un contacto directo con la información pertinente y el auditado, posibilitó la elaboración de una correcta planificación y ejecución de la auditoría, puesto que, permitió comprender las operaciones del auditado, el contexto y la estructura con las que se realiza las actividades de mantenimiento. En la Tabla 6.18, los laboratorios que conforman el área de mecánica, y se los ha denominado con un dígito que los caracterice.

**Tabla 6.18:** Laboratorios y secciones del área de mecánica

Ítem	Nombre de Laboratorio	Código
1	Automatismos	A
2	Termofluidos	T
3	Automatismos y control totalmente integrado	AC
4	Máquinas Térmicas	MT
5	Vibraciones Mecánicas	VM
6	Instrumentación Industrial	I1
7	Ensayos destructivos	ED
8	Metrología	M
9	Soldadura	S
10	CAV	CA
11	Centro de torneado CNC	CT
12	Centro de mecanizado CNC	CM
13	Ensayo de Polímeros	EP
14	Tratamientos térmicos	TT
15	Fundición	F
16	Ensayos no destructivos	END
17	Tranformación de polímeros	TP
18	Metalografía	M
19	Área de compresores y central de gases	ACG

### 6.5.2. Fase 2: Preparación y planificación de actividades de auditoría

Durante esta fase, una vez analizada la documentación proporcionada por el responsable de las áreas, se procede a la elaboración del programa y el plan de auditoría a llevarse a cabo durante un periodo determinado en los laboratorios del área de mecánica de

la Universidad Politécnica Salesiana, sede Cuenca. Estos documentos (plan y programa), servirá de guía de trabajo para el equipo auditor, y deberá ser presentado al representante de la organización auditada, para su respectiva aprobación y firma del mismo, para luego, emitir este documento a los responsables de cada área, con la finalidad de que conozcan las directrices, criterios y procesos a ser evaluados.

### 6.5.2.1. Selección del equipo auditor

Antes de llevar a cabo la auditoría, se debe asignar al equipo auditor. Los auditores deberán cumplir con todas las actividades de la auditoría a realizarse en situ, y tomar ciertas consideraciones puntuales, que son la base para el desarrollo de todo el proceso de auditoría:

- Permanecer durante la auditoría
- Coordinación del tiempo
- Mantener la objetividad y la ética durante la entrevista y el levantamiento de información pertinente

El equipo auditor deberá programar y planificar las actividades de auditoría en base a la información documentada, tales como: políticas, objetivos, manuales, planes, programas, procedimientos, e instructivos proporcionados por el auditado, y son pertinentes a los criterios de auditoría y a las áreas donde se llevará el proceso de evaluación. A continuación, en la Tabla 6.19 se presenta el equipo auditor que llevó a cabo el proceso de auditoría a la gestión de mantenimiento en los laboratorios del área de mecánica de la Universidad Politécnica Salesiana.

**Tabla 6.19:** Equipo auditor. **Fuente:** Autores

Nombre Completo	Escolaridad	Cargo
Mayra Viviana Puedmag Perez	Estudiante	Auditor 1
Anderson Andrés Mogollón Espinoza	Estudiante	Auditor 2

### 6.5.2.2. Elaboración del programa de auditoría

Como se presentó en la Tabla 6.18, la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca,

## 6. Marco Experimental

cuenta con 18 laboratorios y un área de compresores. Por consiguiente, en la Tabla 6.20 se presenta el programa de auditoría para varias auditorías a desarrollarse acordadas en un tiempo determinado.

**Tabla 6.20:** Programa de auditoría. **Fuente:** Autores

	PROGRAMA DE AUDITORÍA				
	Versión:	Código	Fecha de Emisión		
	1	UPS-LAB-GM2	6/7/20201		
<b>Objetivo de Programa de Auditoría:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Determinar el nivel de madurez de las actividades de mantenimiento que se realizan en los laboratorios.</li> <li>• Verificar el cumplimiento de los criterios exigidos</li> </ul>				
<b>Alcance de Programa de Auditoría:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Laboratorios correspondientes al área de mecánica</li> <li>• Personas encargadas</li> <li>• Talleres y espacios de mantenimiento</li> <li>• Involucrados con la auditoría</li> </ul>				
<b>Riesgos asociados con el programa de auditoría:</b>	Indicado en la tabla 2: Riesgos y oportunidades del programa de auditoría		<b>Recursos Necesarios:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Formato de programa de auditoría</li> <li>• Listas de verificación (instrumento de evaluación)</li> <li>• Cuestionario</li> </ul>	
<b>Método de auditoría a emplear:</b>	Interacción humana, listas de verificación, participación directa del auditado, revisión documental,		<b>Auditor 1</b> <b>Auditor 2</b>	Mayra Pueomag Anderson Mogollón	
FECHA	TIPO DE AUDITORÍA	ÁREAS A AUDITAR	AUDITADO CARGO Y NOMBRE	AUDITOR LÍDER/ EQUIPO AUDITOR	CRITERIOS DE AUDITORÍA
6/7/2021	Externa	Laboratorio de ensayos destructivos y centro de mecanizado (CNC)	Ing. Esteban Tobar	Mayra Pueomag Anderson Mogollón	OG, MF, TM MJ, TH, PP MM, EM, MI (Ver Tabla 5.8)
6/8/2021	Interna	Laboratorio de termofluidos e instrumentación	Ing. Fran Reinoso (Coordinador)	Laboratoristas	
7/9/2021	Interna	Vibraciones mecánicas y control totalmente integrado	Ing. Fran Reinoso (Coordinador)	Laboratoristas	
	Interna	Centro de torneado(CNC) y transformación de polímeros			
10/9/2021	Interna	Metalografía y ensayos no destructivos	Ing. Fran Reinoso (Coordinador)	Laboratoristas	
	Interna	Tratamientos térmicos y laboratorio de fundición			
11/10/2021	Interna	Soldadura y automatismos	Ing. Fran Reinoso (Coordinador)	Laboratoristas	
	Interna	Metrología y CAP			
	Interna	Ensayo de Polímeros y área de compresores y central de gases			

### 6.5.2.3. Planificación de actividades de auditoría

En base a las recomendaciones de la norma ISO 19011:2018 [147]. El plan de auditoría, hace referencia a una agenda detallada para la realización de las actividades a desarrollarse

## 6. Marco Experimental

en una auditoría específica, y una fecha determinada como parte de un programa de auditoría, tal como se presenta en la Tabla 6.21. El plan de auditoría se llevó a cabo en el laboratorio de ensayos destructivos y en el centro de mecanizado (CNC).

**Tabla 6.21:** Plan de auditoría. **Fuente:** Autores

	PLAN DE AUDITORÍA				
	Versión:	Código	Fecha de Emisión		
	1	UPS-LAB-GM	6/7/20201		
<b>Fecha de inicio de Auditoría:</b>	7/7/2021		<b>Hora de Inicio de Auditoría:</b>	11:00	
<b>Auditor 1:</b>	Est. Mayra Piedmag		<b>Auditor 2:</b>	Est. Anderson Mogollón	
<b>Procesos Auditados:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Laboratorio de ensayos destructivos</li> <li>Centro de Mecanizado (CNC)</li> </ul>		<b>Recursos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Equipo Auditor</li> <li>Instrumento de evaluación</li> <li>Personal involucrado</li> <li>Suministros de oficina</li> </ul>	
<b>Objetivo de Auditoría:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Identificar el nivel de madurez de las actividades de mantenimiento de los laboratorios del área mecánica</li> <li>Verificar el cumplimiento de los criterios exigidos</li> </ul>				
<b>Alcance:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Laboratorios de ensayos destructivos y centro de mecanizado (CNC)</li> </ul>				
<b>Criterios de Auditoría:</b>	Documentación (Ver Tabla 5.8)				
<b>Técnicas y procedimientos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Auditoría a la gestión de mantenimiento con interacción humana en sitio.</li> <li>Listas de verificación y cuestionarios prediseñados, con participación directa del auditado</li> <li>Revisión documental con participación del auditado.</li> <li>Observación y comprobación para el levantamiento de hallazgos</li> </ul>				
FECHA	HORARIO	PROCESO/ACTIVIDAD	RESPONSABLE	EQUIPO AUDITOR	LUGAR
6/7/2021	10:00	Preparación de documentos	S/N	Audidores	Laboratorios
7/7/2021	09:00 a 09:30	Reunión de Apertura	Ing. Fran Reinoso	Audidores	Laboratorios
7/7/2021	09:30 a 12:10	<b>Evaluación de Criterios</b> <b>OG</b> Organización General <b>MF</b> Monitoreo financiero de mantenimiento y KPIS <b>TM</b> Tercerización de actividades de mantenimiento <b>MJ</b> Modelos de jerarquización basado en riesgos <b>TH</b> Talento Humano <b>PP</b> Procesos de programación, planificación y optimización de planes de mantenimiento <b>MM</b> Manejo de mantenimiento <b>EM</b> Ejecución de mantenimiento <b>MI</b> Manejo de inventario de bodega de repuestos	Ing. Fran Reinoso	Audidores	Planta 2 del edificio Cornelio Merchán
7/7/2021	13:00 a 13:20	Reunión de Cierre	Ing. Fran Reinoso	Audidores	Laboratorios

A continuación, en la Tabla 6.22 se presenta una descripción breve de los laboratorios de mecánica a auditar. El centro de mecanizado (CNC) y el laboratorio de ensayos

destructivos, brindan un espacio para la construcción de prototipos y la investigación en materiales como la caracterización de las propiedades mecánicas para proyectos de investigación; dichos laboratorios se encuentran ubicados en la planta dos del edificio Cornelio Merchán de la Universidad Politécnica Salesiana de la sede Cuenca.

**Tabla 6.22:** Descripción de los laboratorios a auditar. **Fuente:** Autores

Nombre del laboratorio	Fecha de inicio de funcionamiento	Descripción	Ubicación Física
Centro de Mecanizado CNC	Desde 2009	El centro de mecanizado CNC cuenta con una fresadora CNC de 3 ejes con la capacidad de ampliarse a 4 ejes, para la construcción de piezas y prototipos en distintos materiales como: metales, polímeros, maderas, entre otros.	Planta 2 del edificio Cornelio Merchán
Laboratorio de Ensayos Destructivos.	Desde 2000	El laboratorio de Ensayos Destructivos cuenta con varios equipos para la medición de las propiedades mecánicas de distintos materiales metálicos, cerámicos, fibras, compuestos, maderas. El laboratorio cuenta con máquinas universales de ensayo con una capacidad máxima de 600kN, máquina de compresión con un límite de 3000kN, máquinas para ensayos de torsión, fatiga, deflexión, dureza superficial y resiliencia.	Planta 2 del edificio Cornelio Merchán

### 6.5.3. Fase III: Inicio de la auditoría

#### 6.5.3.1. Comunicación de inicio de auditoría

Durante esta fase, una vez autorizada la realización del proceso de auditoría, se comunicó al coordinador de los laboratorios sobre la hora y la fecha de inicio de las actividades de la auditoría en los laboratorios de la carrera (Anexo A.8). Además, se proporcionó el plan y programa de auditoría con el objetivo de que el auditado verifique y certifique la validación de la misma.

De acuerdo al numeral (6.3.1) de la norma ISO 19011:2018, se realizó la revisión de la información documentada pertinente, para determinar la adecuación respecto a los criterios de auditoría que fueron evaluados. La revisión de la información, permitió elaborar la lista de verificación para facilitar el trabajo de la auditoría en *situ* y ayude a la recolección de datos de forma ordenada y sistemática. Para elaborar la lista de verificación se comparó la documentación desarrollada por la organización y los criterios de auditoría que se va a evaluar. Los elementos de lista de verificación son los siguientes:

- Preguntas al coordinador de laboratorios
- Personal a entrevistar y documentos a solicitar
- Registros a requerir y áreas que se deben visitar

#### 6.5.4. Fase IV: Realización de la auditoría en Situ

##### 6.5.4.1. Reunión de apertura

En esta fase, se procedió a dar inicio con la reunión de apertura, con el fin de confirmar que todas las partes están de acuerdo con: el plan de auditoría, objetivos, alcances y criterios de auditoría, y de comprobar los canales de comunicación con el auditado, y las partes involucradas durante y después del proceso de auditoría en los laboratorios. En la Tabla 6.23, se presenta los principales puntos desarrollados durante la reunión de apertura, acorde a las directrices del numeral 6.4.3 de la norma ISO 19011:2018.

**Tabla 6.23:** Acta de reunión de apertura de auditoría. **Fuente:** Autores

	<b>REUNIÓN DE APERTURA DE AUDITORÍA A LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO</b>	<b>Fecha de Elaboración</b>	10 de Julio del 2021
		<b>Elaborado por:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anderson Mogollón</li> <li>• Mayra Pueomag</li> </ul>
<p>En la ciudad de Cuenca, el día 12 de julio de 2021 a las 9 horas con 30 minutos, se realizó la reunión de apertura de la auditoría con el personal responsable de la gestión de mantenimiento en los laboratorios del área mecánica de la Universidad Politécnica Salesiana, y la persona encargada de la auditoría a la gestión mantenimiento de activos físicos, para tratar lo siguiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Presentación del equipo auditor (Tabla 6.19).</li> <li>• Objetivo, alcance y los criterios de auditoría (Tabla 6.21).</li> <li>• Instrumento de evaluación y el método de calificación que será empleado (Tabla 6.25).</li> <li>• Aprobación del plan de auditoría y el cronograma de actividades (En sitio).</li> <li>• Designación de las personas de la empresa responsables, para brindar la información referente a cada criterio propuesto del instrumento de evaluación (Ing. Fran Reinoso; Ing. Esteban Tobar).</li> </ul> <p>Al término de la reunión se confirmó que durante el proceso de auditoría existirá una comunicación entre el equipo auditor y el auditado para informar el progreso de la auditoría.</p>			
<hr style="width: 20%; margin: 0 auto;"/> <b>Auditor 1</b>		<hr style="width: 20%; margin: 0 auto;"/> <b>Coordinador de Laboratorios</b>	
<b>Revisado por:</b>			
Dr. Rene Vinicio Sánchez			

##### 6.5.4.2. Verificación y recolección de la información

De acuerdo al numeral (6.3.1) de la norma ISO 19011:2018, se realizó la revisión de la documentación, con la finalidad de determinar la conformidad del sistema de documentación. La información documentada, debe incluir documentos y registros

## 6. Marco Experimental

relevantes, así como los informes de las últimas auditorías realizadas. Esta documentación debe proporcionar información clave para obtener una orientación de las operaciones del auditado y preparar las actividades de auditoría en *situ*. Acorde al plan y programa de auditoría se realizó el cronograma de actividades (Tabla 6.24), por lo que permitió organizar y optimizar las actividades durante la auditoría, de acuerdo al modelo de auditoría de la Figura 6.1.

**Tabla 6.24:** Cronograma de actividades de auditoría. **Fuente:** Autores

	<b>CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES</b>	<b>Fecha de Elaboración:</b>	2 de Junio de 2021
		<b>Elaborado por:</b>	Anderson Mogollón Mayra Puedmag
<b>Hora</b>	<b>Actividad</b>	<b>Responsable o Personal Involucrado</b>	<b>Requisito o criterio</b>
<b>09:00</b>	Reunión de Apertura	Equipo auditor Coordinador de Laboratorios	ISO 19011:2018 (6.4.3)
<b>Ejecución de la auditoría (Criterios de evaluación)</b>			
<b>9:30</b>	Organización General	Equipo auditor y encargado de los laboratorios	Tabla 1, Tabla 2 Tabla 3, Tabla 4 Tabla 5
<b>9:50</b>	Monitoreo Financiero		Tabla 6, Tabla 7
<b>10:10</b>	Tercerización de actividades de mantenimiento		Tabla 8
<b>10:20</b>	Modelos de jerarquización basados en riesgos		Tabla 9, Tabla 10
<b>10:40</b>	Talento humano		Tabla 11, Tabla 12 Tabla 13, Tabla 14
<b>11:00</b>	Procesos de programación, planificación y optimización de planes de mantenimiento		Tabla 15, Tabla 16 Tabla 17, Tabla 18
<b>11:30</b>	Manejo de Mantenimiento		Tabla 19, Tabla 20 Tabla 21, Tabla 22 Tabla 23, Tabla 24
<b>11:50</b>	Ejecución del mantenimiento		Tabla 24, Tabla 25 Tabla 26, Tabla 27 Tabla 28
<b>12:10</b>	Manejo de inventario de bodega de repuestos		Tabla 24, Tabla 25
<b>Reunión de Cierre</b>			
<b>13:00</b>	Revisar el cumplimiento de los objetivos y el alcance de la auditoría	Equipo auditor coordinador de Laboratorios	ISO 19011:2018 (6.4.10)
<b>13:10</b>	Exponer los hallazgos de auditoría	Equipo auditor coordinador de Laboratorios	
<b>13:20</b>	Presentación de las conclusiones de la auditoría	Equipo auditor coordinador de Laboratorios	
<b>Revisado por:</b>		Dr. Vinicio Sánchez	

Previo a la presentación de los resultados de la auditoría, se diseñó y se llevó a cabo

## 6. Marco Experimental

la aplicación del cuestionario o instrumento de evaluación (Tabla 6.25), adaptado a las necesidades y expectativas de los responsables de los laboratorios. Las preguntas han sido agrupadas según los criterios y subcriterios de auditoría previamente ponderados, y cubre las necesidades de conocer el estado actual de los laboratorios. En función de lo anterior, el instrumento permitió registrar los hallazgos de auditoría, comparando los criterios de auditoría frente a la información documentada (evidencia) pertinente proporcionada por el responsable del laboratorio auditado.

**Tabla 6.25:** Instrumento de evaluación. **Fuente:** Autores

INSTRUMENTO DE EVALUACIÓN					
<b>Proceso o requisito a auditar:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Laboratorio de ensayos destructivos</li> <li>Centro de mecaniza (CNC)</li> </ul>	<b>Auditor:</b>	Auditor 1 Auditor 2	<b>Auditoría N°</b>	1
<b>Encargado del proceso:</b>	Ing. Esteban Tobar	<b>Fecha de auditoría:</b>	12/07/2021	<b>Tipo de auditoría:</b>	Externa
N°	Preguntas	Hallazgo	Estatus de la Evaluación		Ptos
			C	NC	
<b>OG: ORGANIZACIÓN GENERAL</b>					
<b>OG1</b>	¿Los requisitos de alta gerencia son aplicados de forma eficiente dentro de la empresa?				
<b>OG2</b>	¿La empresa cuenta con un plan integral de gestión de activos, diseñado para implantar los diversos procesos y procedimientos propuestos para el desarrollo de las actividades que se realizan?				
<b>OG3</b>	¿Existe una estrategia integral y objetivos de mantenimiento para las diferentes áreas de la empresa?				
<b>OG4</b>	¿La estructura organizacional de la empresa involucra a la parte de mantenimiento?				
<b>OG5</b>	¿Mantenimiento dispone de medios de comunicación eficiente entre los diferentes departamentos o áreas?				
<b>MF: MONITOREO FINANCIERO DE MANTENIMIENTO y KPIS</b>					
<b>MF1</b>	¿La planificación para gastos de mantenimiento se realiza en concordancia con las metas y objetivos de la organización?				
<b>MF2</b>	¿El área de mantenimiento cuenta con un presupuesto definido?				
<b>TM: TERCERIZACIÓN DE ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO</b>					
<b>TM1</b>	¿Existe una política de contratación de personal de mantenimiento?				
<b>MJ: MODELOS DE JERARQUIZACIÓN BASADO EN RIESGOS</b>					
<b>MJ1</b>	¿El departamento de mantenimiento tiene definida de forma clara la gestión de los procesos de seguridad, salud y medio ambiente?				
<b>MJ2</b>	¿La empresa cuenta con un modelo de priorización de equipos (criticidad) basados en riesgos?				

## 6. Marco Experimental

Proceso o requisito a auditar:	<ul style="list-style-type: none"> <li>Laboratorio de ensayos destructivos</li> <li>Centro de mecaniza (CNC)</li> </ul>	Auditor:	Auditor 1 Auditor 2	Auditoría N°	1
Encargado del proceso:	Ing. Esteban Tobar	Fecha de auditoría:	12/07/2021	Tipo de auditoría:	Externa
N°	Preguntas	Hallazgo	Estatus de la Evaluación		Ptos
			C	NC	
<b>TH: TALENTO HUMANO</b>					
TH1	¿Su empresa tiene establecido un proceso de selección de personal para el área de mantenimiento?				
TH2	¿Para el área de mantenimiento se realizan talleres de capacitación y entrenamiento al personal?				
TH3	¿Existen procesos de certificación de personal que implementen para el área de mantenimiento?				
TH4	¿La empresa realiza acciones de motivación para reconocer el trabajo realizado por el personal de mantenimiento?				
<b>PP: PROCESOS DE PROGRAMACIÓN, PLANIFICACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE PLANES DE MANTENIMIENTO</b>					
PP1	¿Existe un proceso detallado y eficiente de políticas para la planificación del mantenimiento?				
PP2	¿Las estrategias de planificación y programación de actividades de mantenimiento están alineadas con el plan de mantenimiento?				
PP3	¿Su empresa maneja procesos eficientes de planes de mantenimiento por condición: técnicas predictivas?				
PP4	¿Existe un sistema de control de los planes de mantenimiento?				
<b>MM: MANEJO DE MANTENIMIENTO</b>					
MM1	¿En su empresa se realiza ingeniería de mantenimiento?				
MM2	¿Dentro de su empresa se realizan actividades de mantenimiento predictivo?				
MM3	¿Dentro de su empresa se realizan actividades de mantenimiento preventivo?				
MM4	¿Dentro de su empresa se realizan actividades de mantenimiento correctivo?				
MM5	¿La empresa considera la gestión de rendimiento?				
MM6	¿Es común para su empresa realizar inspecciones a las actividades de mantenimiento?				
<b>EM: EJECUCIÓN DE MANTENIMIENTO</b>					
EM1	¿Su empresa cuenta con sistemas generales de información de documentos técnicos de mantenimiento?				
EM2	¿Existen registros con información sobre averías en su empresa?				
EM3	¿La empresa dispone de documentos de mantenimiento de las actividades que se realizan en los equipos?				

## 6. Marco Experimental

<b>Proceso o requisito a auditar:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Laboratorio de ensayos destructivos</li> <li>Centro de mecaniza (CNC)</li> </ul>	<b>Auditor:</b>	Auditor 1 Auditor 2	<b>Auditoría N°</b>	1
<b>Encargado del proceso:</b>	Ing. Esteban Tobar	<b>Fecha de auditoría:</b>	12/07/2021	<b>Tipo de auditoría:</b>	Externa
<i>N°</i>	<b>Preguntas</b>	<b>Hallazgo</b>	<b>Estatus de la Evaluación</b>		<b>Ptos</b>
			C	NC	
<b>EM: EJECUCIÓN DE MANTENIMIENTO</b>					
<b>EM4</b>	¿La gestión de órdenes de trabajo ayuda a mejorar los procesos de programación y planificación del mantenimiento?				
<b>EM5</b>	¿El departamento de mantenimiento cuenta con documentación acerca de análisis de fallos, efectos y consecuencias?				
<b>MI: MANEJO DE INVENTARIO DE BODEGA DE REPUESTOS</b>					
<b>MI1</b>	¿La administración de inventario valorado y etiquetado de ítems de bodega es controlada por una herramienta de soporte informática?				
<b>MI2</b>	¿Existe una gestión de stocks de bodega de repuestos dentro de su empresa?				

### 6.5.4.3. Hallazgos

Una vez comparada la evidencia objetiva frente a los requisitos o criterios de auditoría se procedió con la recolección de la información, para luego generar los resultados o hallazgos de la auditoría que permita la elaboración del informe final. Cabe mencionar que las evidencias es todo aquello que certifica la existencia de actividades, planes, proyectos, tareas y recursos que son pertinentes para la gestión de mantenimiento de activos físicos. De forma más detallada, las conformidades y sus evidencias se presentan en el Anexo A.6.

### 6.5.4.4. Reunión de Cierre

Una vez recolectada las evidencias y revisado los hallazgos de auditoría, se procedió a efectuar la reunión de cierre, en donde intervino el equipo auditor, el coordinador de los laboratorios y las partes interesadas del proceso de auditoría. La reunión se llevó a cabo con el objeto de informar y exteriorizar los siguientes puntos:

- Descripción de los hallazgos de auditoría (conformidades, no conformidades y comentarios).
- El cumplimiento del plan de auditoría.

CONFIDENCIAL

## **RECOMENDACIONES**

- Se recomienda implementar el plan de acción sugerido tras la auditoría a fin de corregir las no conformidades encontradas.
- Llevar a cabo auditorías de seguimiento, a fin de contrarrestar las no conformidades identificadas.

## **TRABAJOS FUTUROS**

- Aplicar el modelo de auditoría de gestión de mantenimiento en el sector industrial.
- Realizar futuras auditorías bajo la metodología propuesta, en áreas o departamentos de la universidad para conocer el estado de su gestión de mantenimiento.

## REFERENCIAS

- [1] I. Palencia, “Tendencias actuales del mantenimiento industrial,” *Reportero industrial*, April, 2014.
- [2] R. Castillo, A. T. Prieto, and E. Zambrano, “Elementos de la gestión de mantenimiento en las instituciones públicas de educación superior del municipio cabimas,” *Negotium*, vol. 9, no. 25, pp. 55–85, 2013.
- [3] R. Davis, “Introducción a la gestión de activos,” *Reino Unido, Blah d blah design ltd Subsidiaria de EA Technology Ltd Capenhurst Technology Park Capenhurst*, 2014.
- [4] N. A. J. Hastings, *Physical asset management: With an introduction to ISO55000*. Springer, 2015.
- [5] M. A. Duménigo Sierra, Y. Borroto Pentón, and A. Alfonso Llanes, “Evaluación y control del mantenimiento,” *Editorial Feijóo*, 2013.
- [6] L. Grimaldo, “La importancia de las auditorías internas y externas dentro de las organizaciones,” *Opción de grado. Universidad militar Nueva Granada. Colombia*. Recuperado de: <http://repository.unimilitar.edu.co>, vol. 8080, 2014.
- [7] M. Bravo, S. Bravo, and J. López, “Importancia de la auditoría de gestión en las organizaciones,” *Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana*, pp. 1–15, 2018.
- [8] E. Vásquez and V. Sallik, “Modelo para auditar la gestión de mantenimiento de pdvsa caso: refinería san roque,” *Revista Mantenimiento en Latino América*, vol. 4, no. 3, pp. 10–20, 2012.
- [9] A. Van Horenbeek and L. Pintelon, “Development of a maintenance performance measurement framework—using the analytic network process (anp) for maintenance performance indicator selection,” *Omega*, vol. 42, no. 1, pp. 33–46, 2014.
- [10] D. G. Pascual and U. Kumar, *Maintenance audits handbook: A performance measurement framework*. Crc Press, 2016.
- [11] A. Parida and G. Chattopadhyay, “Development of a multi-criteria hierarchical framework for maintenance performance measurement (mpm),” *Journal of Quality in maintenance Engineering*, 2007.
- [12] E. M. Dumaguala Encalada, “Gestión e implementación del plan de mantenimiento en los laboratorios del área de ingeniería mecánica en la universidad politécnica salesiana sede cuenca,” Master’s thesis, Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador, 2014.
- [13] P. A. Narváez Guznay and C. E. Zhigue Tene, “Implementación de un plan de mantenimiento para los laboratorios de procesos y transformación de materiales

- del área de ingenierías de la universidad politécnica salesiana sede cuenca,” B.S. thesis, Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador, 2015.
- [14] I. F. Parra González, “Diagnóstico de la gestión de mantenimiento y diseño del plan de mejora para la gestión de mantenimiento de los activos, aplicado a la unidad educativa particular hermano miguel de la salle,” Master’s thesis, Universidad del Azuay, 2017.
- [15] A. Díaz Concepción, A. D. Castillo Serpa, and L. Villar Ledo, “Instrumento para evaluar el estado de la gestión de mantenimiento en plantas de bioproductos: Un caso de estudio,” *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, vol. 25, no. 2, pp. 306–313, 2017.
- [16] M. Herrera-Galán, “Management audit applied to the maintenance department in hospital facilities// auditoría de gestión aplicada al departamento de mantenimiento en instalaciones hospitalarias,” *Ingeniería Mecánica*, vol. 20, no. 3, pp. 152–159, 2017.
- [17] A. Díaz-Concepción, L. Villar-Ledo, A. J. Rodríguez-Piñero, and J. E. Tamayo-Mendoza, “Methodology for maintenance management based on diagnostic criteria,” *DYNA*, vol. 86, no. 211, pp. 208–214, 2019.
- [18] M. A. V. Cuzco, S. R. V. Parra, C. M. G. Londoño, and J. H. N. Costales, “Assessment of the maintenance management in hospitals of the ecuadorian institute of social security of zona 3 of ecuador,” *Ingenius*, no. 22, p. 59, 2019.
- [19] C. P. M. Fernanda, “Elaboración de un modelo de auditoría para evaluar la gestión de mantenimiento de activos físicos en base a normativa internacional aplicado al caso de estudio: Unión cementera nacional (UCEM) planta chimborazo.” B.S. tesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2019.
- [20] B. S. Gandhare and M. M. Akarte, “Benchmarking maintenance performance in select agro-based industry,” *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 2020.
- [21] J. Salas and M. Losada, “Métodos formales usados en la auditoría de gestión de mantenimiento,” *gerencial Visión*, vol. 20, no. 1, p. 84, 2021.
- [22] A. Adolfo Arata, *Manual de gestión de activos y mantenimiento*. Red Internacional del Libro, 2005.
- [23] A. Novillo, “Analysis of pas-55 specifications: 2008 as a contribution to physical asset management in ecuador’s automotive assemblers,” Ph.D. dissertation, Tesis de maestría). Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador, 2013.
- [24] I. O. for Standardization, *ISO 55000: Asset Management-Overview, Principles and Terminology*. International Organization for Standardization, 2014.
- [25] H. KITENDA, “Why you should invest more in financial assets over physical assets,” Sep 30 2020, copyright - The Observer © 2020 Observer Media Ltd.

- All rights reserved. Provided by SyndiGate Media Inc. (Syndigate.info); Última actualización - 2020-09-29. [Online]. Available: <https://n9.cl/o5lab>
- [26] M. N. Mahmood, S. P. Dhakal, K. Brown, R. Keast, and A. Wiewiora, “Asset management policies and guidelines of different states in australia: A comparative analysis,” *Journal of Facilities Management*, vol. 12, no. 3, pp. 286–302, 2014.
- [27] BSi, “Pas 55-1: 2008, part 1: Specification for the optimized management of physical assets,” 2008.
- [28] C. Teske, “Asset management: middle east style,” in *Engineering Asset Management and Infrastructure Sustainability*. Springer, 2012, pp. 919–929.
- [29] B. Wright, T. Pape, and P. SHAW, “Engineering guide to bridge asset management,” The National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, Tech. Rep., Jan. 2021, number: AP-G94-21.
- [30] N. EN, “1325- management de la valeur–vocabulaire–termes et définitions,” *NF EN*, vol. 1325, 2014.
- [31] J. Brennan and L. Mattice, “Managing physical asset risk–the historical core of most security programs,” *Security Solutions for Enterprise Security Leaders*, vol. 50, no. 10, p. 22, 2013.
- [32] CESGIR, “Mantenimiento y gestión de activos: futuro de las empresas,” *Portafolio*, May 16 2015, copyright - Copyright (c) 2015 Portafolio; Última actualización - 2015-05-16. [Online]. Available: <https://n9.cl/7093>
- [33] Á. P. Sánchez-Rodríguez, “La gestión de los activos físicos en la función mantenimiento,” *Ingeniería Mecánica*, vol. 13, no. 2, pp. 72–78, 2010.
- [34] D. Galar, P. Sandborn, and U. Kumar, *Maintenance costs and life cycle cost analysis*. CRC Press, 2017.
- [35] P. Viveros, R. Stegmaier, F. Kristjanpoller, L. Barbera, and A. Crespo, “Proposal for a maintenance management model and its main support tools,” *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, vol. 21, no. 1, pp. 125–138, 2013.
- [36] R. Davis, “Introducción a la gestión de activos,” *The Institute of Asset Management*, 2017.
- [37] B. S. y. o. Dhillon, “Mantenibilidad, mantenimiento y confiabilidad para ingenieros / bs dhillon.”
- [38] J. E. Amadi-Echendu, K. Brown, R. Willett, and J. Mathew, *Definitions, concepts and scope of engineering asset management*. Springer, 2010.
- [39] Reliabilityweb, “Gestión de Activos y Ciclo de Vida - Reliabilityweb.” [Online]. Available: <https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/gestion-de-activos-y-ciclo-de-vida>
- [40] L. Amendola, *Modelos Mixtos de confiabilidad*. PMM Institute for Learning, 2016.

- [41] I. O. A. Management., *Asset Management-An anatomy*. Institute of Asset Ma, 2011.
- [42] M. Marcial Rojas, “Evaluación de la contribución de la gestión de mantenimiento a la gestión de activos físicos en el aeropuerto internacional “abel santamaría cuadrado”, basado en la norma en 16 646: 2014,” Ph.D. dissertation, Universidad Central “Marta Abreu”de Las Villas. Facultad de Ingeniería . . . , 2018.
- [43] F. Márquez Artola, “Evaluación de la gestión de activos a partir de la iso 55 000. consideraciones teóricas,” Ph.D. dissertation, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, 2015.
- [44] “Asset management system standards published.” [Online]. Available: <https://n9.cl/87zzb8>
- [45] L. A. Baque Mite, L. E. Mera Chinga, and S. D. Vera Macías, “Propuesta de un sistema de gestión de activos físicos según norma iso 55001: 2014 en la extractora agrooleaginosas, los ríos oleorios sa que aumente el ciclo de vida y valor de los activos,” 2020.
- [46] H. Kortelainen, S. Kunttu, P. Valkokari, and T. Ahonen, “Asset management decisions—based on system thinking and data analysis,” in *Engineering Asset Management-Systems, Professional Practices and Certification*. Springer, 2015, pp. 1083–1093.
- [47] “UNE-EN 16646:2015 Mantenimiento. Mantenimiento en la gestión d...” [Online]. Available: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0055155>
- [48] J. Woodhouse, “What is asset management?” *Maintenance and Asset Management*, vol. 12, pp. 26–28, 1997.
- [49] A. Peláez-Parra, G. D. Zapata-Madrigal, and R. García-Sierra, “Obsolescence management of it assets in the electric power industry,” *Revista UIS Ingenierías*, vol. 20, no. 1, pp. 47–58, 2021.
- [50] “AEC - Gestión de activos.” [Online]. Available: <https://www.aec.es/web/guest/centro-conocimiento/gestion-de-activos>
- [51] A. E. para la Calidad, “Coso,” *Asociación Española para la Calidad. Recuperado el*, vol. 1, 2017.
- [52] H. Abreu, “Propuesta de mejoras en la elaboración de la lista de trabajo en una parada de planta en el crp,” Ph.D. dissertation, Tesis de Maestría, UNEFM-ISPJAE, Venezuela–Cuba, 2009.
- [53] M. C. en Confiabilidad, “Edición en español,” *Asheville, North Carolina, USA: Aladon LCC*, pp. 1–3, 2004.
- [54] A. J. CORVALÁN BASTA, “Herramienta guía para la generación de valor al interior del sistema de gestión de activos, en base a los requisitos certificables establecidos

- en la normativa iso 55001,” Master’s thesis, Universidad Técnica Federico Santa María, 2016.
- [55] M. A. M. Urrea Mallebrera *et al.*, “Análisis de la metodología de gestión de activos en infraestructuras hidráulicas. propuestas metodológicas para determinación de cánones y tarifas con distintos marcos regulatorios,” Master’s thesis, Mario Andrés Urrea Mallebrera, 2020.
- [56] D. Jiménez, “¿ cómo implementar un sistema de gestión de calidad,” 2019.
- [57] M. Ben-Daya, S. O. Duffuaa, A. Raouf, J. Knezevic, and D. Ait-Kadi, *Handbook of maintenance management and engineering*. Springer, 2009, vol. 7.
- [58] N. S. Office, “NC ISO 9000: 2015. Quality Management Systems. fundamentals and vocabulary,” 2015.
- [59] I. H. Saizarbitoria and M. C. Fa, “Los estándares internacionales de sistemas de gestión,” *Boletín económico de ICE*, no. 2876, 2006.
- [60] D. Rojas Ahumada, “Model for the implementation of an integrate management system aligned to business strategy of the organization,” *Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada*, 2014.
- [61] W. F. D. Loyaga, J. A. A. Ballena, and J. H. Lama, “Implementation of integrated management systems in arequica companies as management tools,” *In Crescendo*, vol. 11, no. 2, pp. 207–224, 2021.
- [62] D. C. VELASQUEZ SANCHEZ, “Diseño del sistema de gestión integral, basado en las normas iso 9001: 2015, 14001: 2015 y 45001: 2018, para la empresa jal vial de medellín–antioquia.” Ph.D. dissertation, Universidad Francisco de Paula Santander, 2021.
- [63] V. I. Antúnez Saiz, “Sistemas integrados de gestión:: de la teoría a la práctica empresarial en cuba,” *Cofin Habana*, vol. 10, no. 2, pp. 1–28, 2016.
- [64] M. Bernardo, “Integration of management systems as an innovation: a proposal for a new model,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 82, pp. 132–142, 2014.
- [65] M. Arias-González, “Integration between the management systems for quality, environment and work security and health,” *Ciencias Holguín*, vol. 20, no. 2, pp. 1–11, 2014.
- [66] “ISO 55001:2014 (en), Asset management — Management systems — Requirements.” [Online]. Available: <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:55001:ed-1:v1:en>
- [67] “Evolution from Maintenance to Management of Physical Assets aligned to norms and Standards (ISO).” [Online]. Available: <https://cutt.ly/HggFT2a>
- [68] I. INTERCOLOMBIA, “Plan estratégico de gestión de activos, pega,” 2017.

- [69] C. Chow-Chua, M. Goh, and T. B. Wan, “Does iso 9000 certification improve business performance?” *Revista internacional de gestión de calidad y fiabilidad*, 2003.
- [70] M. Terziowski, D. Power, and A. S. Sohal, “The longitudinal effects of the iso 9000 certification process on business performance,” *Revista europea de investigación operativa*, vol. 146, no. 3, pp. 580–595, 2003.
- [71] G. Ceciliano-Navarro, “Diseño de una estrategia para implementar la gestión de activos en la empresa cooperantes rl basado en la norma iso 55001: 2014,” *Engineers Canada*, 2020.
- [72] M. Abdelhamid, I. Beshara, and M. Ghoneim, “Strategic asset management: Assessment tool for educational building in egypt,” *HBRC Journal*, vol. 11, no. 1, pp. 98–106, 2015.
- [73] A. L. Alcázar, “Recorriendo la implementación de la gestión de activos según la norma iso 55001,” *Mantenimiento: ingeniería industrial y de edificios*, no. 298, pp. 16–20, 2016.
- [74] A. Koronios, A. Haider, and K. Steenstrup, “Information and operational technologies nexus for asset lifecycle management,” in *Engineering Asset Lifecycle Management*. Springer, 2010, pp. 112–119.
- [75] P. Wu, J. Wang, A. Shemery, and K. Hampson, “Digital asset information management for transport infrastructure: Framework and implementation,” in *Collaboration and Integration in Construction, Engineering, Management and Technology*. Springer, 2021, pp. 413–418.
- [76] R. S. Brito, H. Alegre, and P. Machado, “Strategic asset management approach for planning investment in a large-scale irrigation system,” *Water Supply*, vol. 20, no. 6, pp. 2165–2174, 2020.
- [77] J. E. Amadi-Echendu, R. Willett, K. Brown, T. Hope, J. Lee, J. Mathew, N. Vyas, and B.-S. Yang, “What is engineering asset management?” in *Definitions, concepts and scope of engineering asset management*. Springer, 2010, pp. 3–16.
- [78] T. Jelassi and A. Enders, *Strategies for e-business: creating value through electronic and mobile commerce: concepts and cases*. Pearson Education, 2005.
- [79] D. Maletič, H. Pačaiová, A. Nagyová, B. Gomišček, and M. Maletič, “Framework development of an asset manager selection based on risk management and performance improvement competences,” *Safety*, vol. 7, no. 1, p. 10, 2021.
- [80] J. P. Liyanage and U. Kumar, “Towards a value-based view on operations and maintenance performance management,” *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 2003.
- [81] G. Chattopadhyay, “Asset management journey for realising value from assets,” in *Handbook of Advanced Performability Engineering*. Springer, 2021, pp. 429–450.

- [82] A. E. Henderson and R. D. Hines, "Using concepts from strategic planning," *Data Strategy in Colleges and Universities: From Understanding to Implementation*, 2019.
- [83] N. AlQershi, "Pensamiento estratégico, planificación estratégica, innovación estratégica y desempeño de las pymes: el papel mediador del capital humano," *Management Science Letters*, vol. 11, no. 3, pp. 1003–1012, 2021.
- [84] A. Yadav, N. Pal, J. Patra, and M. Yadav, "Strategic planning and challenges to the deployment of renewable energy technologies in the world scenario: its impact on global sustainable development," *Environment, Development and Sustainability*, vol. 22, no. 1, pp. 297–315, 2020.
- [85] L. Albrechts, A. Balducci, and J. Hillier, *Situated practices of strategic planning: An international perspective*. Routledge, 2016.
- [86] R. N. Anthony, V. Govindarajan, and J. Dearden, *Management control systems*. McGraw-hill Boston, 2007, vol. 12.
- [87] A. Parida and U. Kumar, "Integrated strategic asset performance assessment," in *Engineering Asset Lifecycle Management*. Springer, 2010, pp. 25–30.
- [88] M. G. Alles, S. M. Datar, and J. H. Friedland, "Governance-linked d&o coverage: leveraging the audit committee to manage governance risk," *International Journal of Disclosure and Governance*, vol. 2, no. 2, pp. 114–129, 2005.
- [89] F. De Romario, I. G. A. M. A. Dwija, I. D. N. Badera, I. N. W. A. Putra *et al.*, "Effect of budget participation towards regional government managerial performance," *International research journal of management, IT and social sciences*, vol. 6, no. 3, pp. 101–107, 2019.
- [90] J. I. Criado, R. Sandoval-Almazan, and J. R. Gil-Garcia, "Government innovation through social media," 2013.
- [91] D. Johri, V. Saraf, and A. Ghosh, "Corporate policy-its determinants and importance in present corporate scenario," *International Journal on Emerging Technologies*, vol. 5, no. 1, p. 14, 2014.
- [92] A. A. Thompson, A. J. Strickland *et al.*, "Strategic management concepts and cases," *McGraw-Hill/Irvin*, 2001.
- [93] E. Agwu, "Lecture note on advanced strategic management," *Covenant University*, 2015.
- [94] M. Allison and J. Kaye, *Strategic planning for nonprofit organizations: A practical guide for dynamic times*. John Wiley & Sons, 2015.
- [95] J. Donkor, G. N. A. Donkor, and C. K. Kwarteng, "Strategic planning and performance of smes in ghana: The moderating effect of market dynamism," *Asia Pacific Journal of Innovation and Entrepreneurship*, 2018.

- [96] U. Al-Turki, “A framework for strategic planning in maintenance,” *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 2011.
- [97] A. Aránguiz, N. Gatica, J. Böhme, W. Wolfgang, and C. Parra, “Desarrollo de la auditoría integral amorms (asset management, operational reliability & maintenance survey), aplicada a los procesos de gestión de activos y mantenimiento de una planta de celulosa.” *Technical Report*, 10 2020.
- [98] K. E. Sanjaya and M. S. Utama, “Asset management performance in the government of jembrana bali regency,” *International Research Journal of Management, IT and Social Sciences*, vol. 7, no. 4, pp. 24–35, 2020.
- [99] K. Brown, M. Laue, J. Tafur, M. N. Mahmood, P. Scherrer, and R. Keast, “An integrated approach to strategic asset management,” in *Infranomics*. Springer, 2014, pp. 57–74.
- [100] L. Dumetz, J. Gaudreault, H. Bril El-Haouzi, A. Thomas, N. Lehoux, and P. Marier, “Tactical-operational coordination of a divergent production system with coproduction: the sawmilling challenge,” *INFOR: Information Systems and Operational Research*, pp. 1–23, 2021.
- [101] B. D. Council, “Asset management plan,” *Last accessed on 1st May*, 2015.
- [102] N. A. J. Hastings, “Introduction to asset management,” in *Physical Asset Management*. Springer, 2021, pp. 1–24.
- [103] Y. Ngadiman, M. F. Ahmad, N. A. Abd Hamid, R. Z. R. M. Rasi, K. Ahmad, and N. H. A. Hamid, “The awareness and obstacle factor of machine maintenance toward total productive maintenance in manufacturing company,” in *Advances in Manufacturing Engineering*. Springer, 2020, pp. 673–686.
- [104] “Strategic, Operational, and Tactical.” [Online]. Available: <https://cutt.ly/NvrGDHC>
- [105] F. S. Alrowahi and M. U. Tariq, *A Study on the Methods of Planning, Organizing and Controlling Maintenance: A Case Study of Furniture Manufacturing Organization*. Sustainable Economic Development and Advancing Education Excellence in the era of Global Pandemic, Jan. 2021.
- [106] F. L. Cooke, “Plant maintenance strategy: evidence from four british manufacturing firms,” *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 2003.
- [107] E. Zio, “Reliability engineering: Old problems and new challenges,” *Reliability Engineering & System Safety*, vol. 94, no. 2, pp. 125–141, 2009.
- [108] K. Khazraei and J. Deuse, “A strategic standpoint on maintenance taxonomy,” *Journal of Facilities Management*, 2011.
- [109] A. Nagyova and H. Pacaiova, “Maintenance evaluation based on the efqm model excellence,” in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 393, no. 1. IOP Publishing, 2018, p. 012005.

- [110] J. L. Jooste and D. Page, “A performance management model for physical asset management,” *South African Journal of Industrial Engineering*, vol. 15, no. 2, pp. 45–66, 2004.
- [111] G. Schuh, B. Lorenz, C.-P. Winter, and G. Gudergan, “The house of maintenance-identifying the potential for improvement in internal maintenance organizations by means of a capability maturity model,” in *Engineering Asset Lifecycle Management*. Springer, 2010, pp. 15–24.
- [112] R. K. Mobley, *An introduction to predictive maintenance*. Elsevier, 2002.
- [113] U. UNE, “13306: 2018. mantenimiento. terminología del mantenimiento,” 2018.
- [114] A. Díaz-Concepción, F. Pérez-Rodríguez, A. del Castillo-Serpa, and M. L. Brito-Vallina, “Propuesta de un modelo para el análisis de criticidad en plantas de productos biológicos,” *Ingeniería Mecánica*, vol. 15, no. 1, pp. 34–43, 2012.
- [115] F. J. Cárcel-Carrasco, “Ingeniería del mantenimiento industrial y gestión del conocimiento. mejora en la eficiencia de las empresas,” *Elementos*, vol. 5, no. 5, 2015.
- [116] J. Cárcel-Carrasco and C. Gómez-Gómez, “Qualitative analysis of the perception of company managers in knowledge management in the maintenance activity in the era of industry 4.0. processes 2021, 9, 121,” 2021.
- [117] M. Milana, M. K. Khan, and J. E. Munive-Hernandez, “Design and development of knowledge based system for integrated maintenance strategy and operations,” *Concurrent Engineering*, vol. 25, no. 1, pp. 5–18, 2017.
- [118] M. A. López-Campos and A. C. Márquez, “A maintenance management framework based on pas 55,” in *Advanced Maintenance Modelling for Asset Management*. Springer, 2018, pp. 17–41.
- [119] J. Heikkilä, T. Ahonen, J. Neejärvi, and J. Ala-Nikkola, “Collaborative development of maintenance investment management: A case study in pulp and paper industry,” in *Engineering Asset Lifecycle Management*. Springer, 2010, pp. 1–6.
- [120] A. Onawumi, A. Aremu, O. Ajiboso, O. Agboola, T. Olayanju, and C. Osueke, “Development of strategic maintenance prediction model for critical equipment maintenance,” *Materials Today: Proceedings*, 2021.
- [121] A. Kelly, *Strategic maintenance planning*. Elsevier, 2006, vol. 1.
- [122] L. M. Suárez Guerra, “Implementación de un plan de mantenimiento preventivo para mejorar la rentabilidad de la empresa de transportes y turismo emicer eirl, 2018,” Master’s thesis, Universidad César Vallejo, 2018.
- [123] O. F. Barros Juca, “Planificación estratégica de mantenimiento como herramienta preventiva y predictiva para la disminución de la accidentabilidad de un sistema de seguridad y salud ocupacional,” Master’s thesis, Universidad Politécnica Salesiana, Sede Cuenca, 2015.

- [124] C. P. Arias Reyes, “Propuesta de un modelo de gestión de mantenimiento basado en la criticidad de los activos para el taller de mecánica industrial de la ue técnico salesiano,” Master’s thesis, Universidad del Azuay, 2020.
- [125] L. E. A. Bazurto and F. B. G. Chata, “Implementación del mantenimiento centrado en confiabilidad a maquinarias críticas de la plaza calderón/implementation of reliability-centered maintenance to critical machinery at plaza calderón,” *Universidad&Ciencia*, vol. 10, no. 1, pp. 202–216, 2021.
- [126] A. Luigi. (2018) Como reducir los costos - pérdidas en mantenimiento & operaciones a través de la gestión de activos iso 55001. [Online]. Available: <https://cutt.ly/Zvolkum>
- [127] S. M. Aljazzar and A. Gurtu, “Observations on ‘a joint economic-lot-size model for purchaser and vendor’,” *International Journal of Inventory Research*, vol. 5, no. 3, pp. 169–187, 2019.
- [128] S. Hartini, U. Ciptomulyono, M. Anityasari *et al.*, “Manufacturing sustainability assessment using a lean manufacturing tool,” *International Journal of Lean Six Sigma*, 2020.
- [129] Q. Hernández, Y. Alonso *et al.*, “Aportes de la planeación estratégica al diseño y ejecución de los objetivos organizacionales,” Master’s thesis, Universidad Militar Nueva Granada, 2018.
- [130] R. Velmurugan and T. Dhingra, “Maintenance strategy selection and its impact in maintenance function: A conceptual framework,” *International Journal of Operations & Production Management*, 2015.
- [131] W. D. Erazo Narváez and H. A. Delgado Rosero, “Formulación de un planteamiento estratégico para el área de mantenimiento de una compañía papelera en colombia.” Master’s thesis, Universidad Icesi, 2018.
- [132] S. G. Garrido, *Ingeniería de mantenimiento: Manual práctico para la gestión eficaz del mantenimiento industrial*. Renovetec, 2014.
- [133] Á. Varela Geis, “Innovación y desarrollo tecnológico de los procesos y técnicas de mantenimiento para las válvulas en buques de última generación,” Ph.D. dissertation, Universitat Politècnica de Catalunya, 2018.
- [134] M. Deighton, *Facility Integrity Management: Effective Principles and Practices for the Oil, Gas and Petrochemical Industries*. Gulf Professional Publishing, 2016.
- [135] A. J. Pistarelli, *Manual de mantenimiento: Ingeniería, gestión y organización*. Pistarelli, 2010.
- [136] L. M. Pintelon and L. Gelders, “Tomada de decisão de gerenciamento de manutenção,” *European journal of operational research*, vol. 58, no. 3, pp. 301–317, 1992.

- [137] R. P. Mishra, G. Anand, and R. Kodali, “Development of a framework for world-class maintenance systems,” *Journal of Advanced Manufacturing Systems*, vol. 5, no. 02, pp. 141–165, 2006.
- [138] C. Parra, V. González-Prida, E. Candón, A. De la Fuente, P. Martínez-Galán, and A. Crespo, “Integration of asset management standard iso55000 with a maintenance management model,” in *World Congress on Engineering Asset Management*. Springer, 2019, pp. 189–200.
- [139] A. C. Márquez, *A estrutura de gerenciamento de manutenção: modelos e métodos para manutenção de sistemas complexos*. Springer Science & Business Media, 2007.
- [140] C. M. Corzo Delgado, “Evaluation of Infrastructure Asset Management tools for water distribution networks in the context of water utilities in Colombia,” Master’s thesis, Universidad Nacional de Colombia, 2020.
- [141] L. Amendola León, “Análisis de gap en la gestión de activos físicos para lograr la sustentabilidad,” *PMM Institute for Learning. Universidad Politécnica de Valencia. España*, 2011.
- [142] J. Grenčík and V. Legát, “Maintenance audit and benchmarking-search for evaluation criteria on global scale,” *Eksploatacja i Niezawodność—Maintenance and Reliability*, vol. 3, no. 35, pp. 34–39, 2007.
- [143] H. Kagermann, W. Kinney, and K. Küting, *Internal Audit Handbook Management with the SAP®-Audit Roadmap*. Springer, 2021.
- [144] F. J. G. Fernández, *Auditoría del mantenimiento e indicadores de gestión*. FC editorial, 2004.
- [145] V. Macián, B. Tormos, J. Salavert, and S. Ballester, “Methodology applied for maintenance technical audit in urban transport fleets,” *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 2010.
- [146] J. L. M. Puerta, “Sistema de gestión del mantenimiento para una flota de autobuses de transporte urbano.” *Mantenimiento: ingeniería industrial y de edificios*, no. 168, pp. 16–25, 2003.
- [147] “ISO 19011:2018(es), Directrices para la auditoría de los sistemas de gestión.” [Online]. Available: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:19011:ed-3:v1:es>
- [148] J. L. Coetzee, “A holistic approach to the maintenance “problem”,” *Revista de calidad en ingeniería de mantenimiento*, 1999.
- [149] J. G. Sotelo Asef, “La planeación de la auditoría en un sistema de gestión de calidad tomando como base la norma iso 19011: 2011,” *RIDE. Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, vol. 8, no. 16, pp. 97–129, 2018.
- [150] E. S. Vásquez and B. V. Morales Lara, “Auditoría interna del sistema de gestión de la calida según los requisitos de la norma iso/iec 17025: 2005, para la mejora

- continua y proceso de la acreditación en el laboratorio de biotecnología unan-managua octubre 2016-febrero 2017,” Ph.D. dissertation, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua, 2017.
- [151] L. Borg, “Implementation of the iso 9001 quality management system,” B.S. thesis, Metropolia University of Applied Sciences, 2021.
- [152] R. Padhan and K. Prabheesh, “The economics of covid-19 pandemic: A survey,” *Economic Analysis and Policy*, vol. 70, pp. 220–237, 2021. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0313592621000321>
- [153] R. Kušnirová, “Comprehensive concept model for management auditing in smes,” in *SHS Web of Conferences*, vol. 90. EDP Sciences, 2021, p. 01011.
- [154] P. Kotler, *A framework for marketing management*. Pearson Education Limited, 2016.
- [155] E. Vásquez, “How to audit maintenance management. san roque refinery case, pdvsa,” Mar. 2012. [Online]. Available: <https://cutt.ly/MvkYsZt>
- [156] T. Resources and D. E. T. P.-B. M. S. I. Group, “How to measure performance: A handbook of techniques and tools,” *Training Resources and Data Exchange (TRADE) Performance-based Management Special Interest Group, Oak Ridge Associated Universities, USA*, 1995.
- [157] M. M. Vosloo, “A conceptual model for the development of a maintenance philosophy.” *University of Pretoria (South Africa)*, 2000.
- [158] V. Legát, Z. Aleš, and T. Hladík, “Maintenance audit: the tool for maintenance management quality of manufacturing equip-ment,” *Manufacturing Technology*, vol. 17, no. 1, 2017.
- [159] A. Weber and R. Thomas, “Key performance indicators: Measuring and managing the maintenance function,” *Ivara Corporation*, 2005.
- [160] U. Kumar, D. Galar, A. Parida, C. Stenström, and L. Berges, “Maintenance performance metrics: a state-of-the-art review,” *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 2013.
- [161] C. Parra, “Implantación piloto de la auditoria mes: Maintenanceeffectivenesssurvey, en el campo petrolero guando–empresas petrobras,” *Informe Técnico INGECON: SN-08-10-COL, Bogotá*, 2008.
- [162] R. E. d. Excelencia\_, “Norma ISO 19011 – Principios de auditoría,” Nov. 2015. [Online]. Available: <https://www.escuelaeuropeaexcelencia.com/2015/11/norma-iso-19011-principios-de-auditoria/>
- [163] J. Riera, F. Chiriboga, and N. Zambrano, “Norma iso 19011,” *Observatorio de la Economía Latinoamericana*, no. marzo, 2018.

- [164] J. C. Gonzalez and R. F. M. Beltrán, “Herramienta para la realización de auditorías internas para empresas con sistemas hseq,” *SIGNOS-Investigación en sistemas de gestión*, vol. 12, no. 2, pp. 47–57, 2020.
- [165] A. Senlle, *ISO 9000-2000: calidad y excelencia: todo lo que se tiene que conocer para implantar y mantener un sistema de gestión de la calidad y avanzar por el camino de la excelencia*. Ediciones Gestión 2000, 2001.
- [166] S. G. Chervak and C. G. Drury, “Human factors audit program for maintenance,” *Human Factors in Aviation Maintenance—Phase five Progress Report, National Technical Information System, Springfield, VA*, pp. 93–126, 1996.
- [167] S. española Tatiana milena, T. posada Claudia Andrea, A. agudelo Diana Stefanny, B. ramirez Julieth Daniela, and H. beleño Adison, “Plan de auditoria para el programa de auditoria interna de la norma iso 22000:2018 de la empresa de productos alimenticios magdalana,” 2020-12-24. [Online]. Available: <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/38833>
- [168] D. L. Crumbley and R. Zabihollah, *US Master Auditing Guide*. CCH, 2004.
- [169] R. R. Moeller, “Brink’s modern internal auditing: A common body of knowledge. john willey & sons,” *Inc.. Hoboken, New Jersey*, 2016.
- [170] N. A. Hassan, S. H. M. Zailani, and H. A. Hasan, “Integrated internal audit in management system,” *The TQM Journal*, 2019.
- [171] W. A. Shewhart, “Economic quality control of manufactured product 1,” *Bell System Technical Journal*, vol. 9, no. 2, pp. 364–389, 1930.
- [172] D. W. Edwards, “Out of the crisis: quality, productivity and competitive position,” *Massachusetts: USA*, 1986.
- [173] A. Nurzaki, A. Santoso, C. Benawan, D. Wahyudin, and S. Santoso, “Improvement of deet level of product x using deming cycle (pdca method) in pt z,” in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 1034, no. 1. IOP Publishing, 2021, p. 012110.
- [174] N. Rose and D. S. J. Pang, “A practical guide to implementing clinical audit,” *The Canadian veterinary journal = La revue veterinaire canadienne*, vol. 62, no. 2, p. 145–152, February 2021. [Online]. Available: <http://europepmc.org/abstract/MED/33542553>
- [175] C. K. T. Iturriaga, S. M. Nigenda, S. C. Prieto, and E. D. G. Rojas, *Fundamentos de auditoría.: Aplicación práctica de las Normas Internacionales de Auditoría*. IMCP, 2019, vol. 1.
- [176] A. STEFANESCU and I. MARIN, “Conceptual framework regarding the influence of audit mission’s management over human resources audit,” *PROCEEDINGS OF THE 14th INTERNATIONAL MANAGEMENT CONFERENCE*, 2020.

- [177] J. X. Aroca Farfán, “Auditoría de gestión a los procesos administrativos de cobranza y recuperación de cartera de la empresa disvalbo cía. Ltda,” B.S. thesis, Universidad Técnica de Ambato, 2021.
- [178] P. A. A. O. F. STATEMENTS, “International standard on auditing 300 planning an audit of financial statements,” *IAASB Main Agenda*, 2004.
- [179] X. Wang, T. Zhao, and C.-T. Chang, “An integrated fahp-mcgp approach to project selection and resource allocation in risk-based internal audit planning: A case study,” *Computers & Industrial Engineering*, vol. 152, p. 107012, 2021.
- [180] I. Lennik, “Methodology of risk-based planning of internal audit.” *Audit statements*, no. 11, pp. 31–41, 2016.
- [181] S. Bychkova and I. Smirnova, “The procedure of audit planning: Russian experience,” in *Book Experience*, 01 2000.
- [182] T. m. Sánchez española, C. A. Tejada posada, D. S. Almario agudelo, J. D. Bolivar ramirez, and A. Hostia beleño, “Plan de auditoria para el programa de auditoria interna de la norma iso 22000:2018 de la empresa de productos alimenticios magdalana,” Master’s thesis, Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD, Dec. 2020, accepted: 2021-01-14T17:17:55Z.
- [183] G. Ortega, “Auditorias de sistemas de gestión para empresas,” *Universidad Politécnica de Valencia*, p. 11, 2021.
- [184] P. Clarke, “Physical asset management strategy development and implementation,” *Proceedings, ICOMS*, 2002.
- [185] F. A. Al Marzooqi, M. Hussain, and S. Z. Ahmad, “Performance of physical asset management using the analytic hierarchy process,” *Property Management*, 2019.
- [186] “Norma Sistemas de gestión de mantenimiento - Requisitos.” [Online]. Available: <https://www.ibnorca.org/tienda/catalogo/detalle-norma/nb-12017:2013-nid=40-1#scrollSlider>
- [187] N. Venezolana, “Manual para evaluarlos sistemas de mantenimiento en la industria,” *Covenin*, no. 2500, pp. 2500–2593, 1993.
- [188] H. R. Acosta-Palmer and M. d. l. C. Troncoso-Fleitas, “Auditoria integral de mantenimiento en instalaciones hospitalarias, un análisis objetivo,” *Ingeniería Mecánica*, vol. 14, no. 2, pp. 107–118, 2011.
- [189] J. Moubray, *Reliability-centered maintenance*. Industrial Press Inc., 2001.
- [190] A. Parra, C y Crespo, “Técnicas de auditoría aplicadas en los procesos de gestión del mantenimiento y de la confiabilidad,” 2017.
- [191] R. C. Ratnayake and T. Markeset, “Technical integrity management: measuring hse awareness using ahp in selecting a maintenance strategy,” *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 2010.

- [192] A. M. Fouladgar and O. Simeone, "On the transfer of information and energy in multi-user systems," *IEEE Communications Letters*, vol. 16, no. 11, pp. 1733–1736, 2012.
- [193] B. Kirubakaran and M. Ilankumaran, "Selection of optimum maintenance strategy based on fahp integrated with gra–topsis," *Annals of Operations Research*, vol. 245, no. 1, pp. 285–313, 2016.
- [194] C. Cholasuke, R. Bhardwa, and J. Antony, "The status of maintenance management in uk manufacturing organisations: results from a pilot survey," *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 2004.
- [195] R. Refaat and I. M. El-Henawy, "Innovative method to evaluate quality management system audit results' using single value neutrosophic number," *Cognitive Systems Research*, vol. 57, pp. 197–206, 2019.
- [196] G. E. Murillo Vargas, "Metodología de aplicación de una auditoría de gestión como herramienta para determinar los costos de la no calidad y elevar la productividad en el departamento de ahorros de la mutualista pichincha." B.S. thesis, Quito; 2011, 2011.
- [197] D. Hemsworth, "An empirical assessment of the efqm excellence model in purchasing," *International Business & Economics Research Journal (IBER)*, vol. 15, no. 4, pp. 127–146, 2016.
- [198] M. A. Hernández, S. Cantin Garcia, N. Lopez Abejon, and M. Rodriguez Zazo, "Estudio de encuestas," *Estudio de Encuestas*, vol. 100, 2010.
- [199] N. F. Gualán Aguirre and C. V. Lucero Sánchez, "Elaboración de un plan de mantenimiento preventivo para el área de preparación de la empresa francelana sa," B.S. thesis, QUITO/EPN/2011, 2011.
- [200] A. Kuznik, A. H. Albir, and A. E. Berenguer, "El uso de la encuesta de tipo social en traductología: características metodológicas," *MonTI. Monografías de Traducción e Interpretación*, no. 2, pp. 315–344, 2010.
- [201] M. Stadler, M. Sailer, and F. Fischer, "Knowledge as a formative construct: A good alpha is not always better," *New Ideas in Psychology*, vol. 60, p. 100832, 2021.
- [202] L. J. Cronbach, "Coefficient alpha and the internal structure of tests," *psychometrika*, vol. 16, no. 3, pp. 297–334, 1951.
- [203] N. Shrestha, "Factor analysis as a tool for survey analysis," *American Journal of Applied Mathematics and Statistics*, vol. 9, no. 1, pp. 4–11, 2021.
- [204] P. J. Lavrakas, *Encyclopedia of survey research methods*. Sage publications, 2008.
- [205] S. P. Moya Sánchez, "La consolidación espiritual de los nuevos creyentes en la iglesia la hermosa de las asambleas de dios," Master's thesis, Universidad Seminario Evangélico de Lima, 2021.

- [206] J. C. M. Navarro, *Apuntes de auditoría*. Juan Carlos Mira Navarro, 2006.
- [207] S. A. Flores Panchi and F. V. Yugsi Toapanta, “Auditoría de gestión en el departamento de comercialización de z&s distribuciones–placa centro masisa sucursal latacunga, ubicado en la ciudad de latacunga del periodo 01 de julio al 31 de diciembre del 2008.” Master’s thesis, LATACUNGA/UTC/2011, 2011.
- [208] M. N. Garcia Vega and K. D. Ruiz Aleman, “Normas internacionales de auditoria analizar la aplicación de la nia 500 evidencia y nia 501 consideraciones específicas para determinadas áreas (en relación a la existencia) en la auditoria realizada al área de inventarios de la estación de servicio inés galeano en el año 2017,” Ph.D. dissertation, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua Unan Managua, 2019.
- [209] M. A. O. Gómez, M. F. M. Rocha, and C. G. P. López, “Construcción de gráficas estadísticas en tesis de la licenciatura en psicología educativa de la universidad pedagógica nacional,” *Consejo Mexicano de Investigación Educativa, AC*, 2017.
- [210] D. C. Watkins, “Rapid and rigorous qualitative data analysis: The “radar” technique for applied research,” *International Journal of Qualitative Methods*, vol. 16, no. 1, p. 1609406917712131, 2017.
- [211] L. A. Tavares, *Administración moderna de mantenimiento*. Novo Polo Publicacoes, 1999.
- [212] J. I. S. Hernández, N. R. Laverde, and A. M. D. Portillo, “Auditoría de mantenimiento: La unión de dos herramientas esenciales para beneficio de la producción industrial moderna,” *CICAG: Revista del Centro de Investigación de Ciencias Administrativas y Gerenciales*, vol. 15, no. 1, pp. 226–258, 2017.
- [213] J. G. Dihigo, *Metodología de la investigación para administradores*. Ediciones de la U, 2021.
- [214] M. Kozak, J. Hartley, A. Wnuk, and M. Tartanus, “Multiple pie charts: Unreadable, inefficient, and over-used,” *Journal of Scholarly Publishing*, vol. 46, pp. 282–289, 04 2015.
- [215] M. A. Torres Chimborazo, “Propuesta metodológica para mejorar el aprendizaje de estadística utilizando el software excel, para estudiantes del 7mo. año, de la escuela de educación básica julio oscar pinos andrade en el año lectivo 2018-2019,” B.S. thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2018.
- [216] C. M. Bencardino, *Estadística básica aplicada*. Ecoe Ediciones, 2019.
- [217] M. C. Carnero, “Auditing model for the introduction of computerised maintenance management system,” *International Journal of Data Science*, vol. 1, no. 1, pp. 17–41, 2015.

- [218] S. Taghipour, D. Banjevic, and A. K. Jardine, “Prioritization of medical equipment for maintenance decisions,” *Journal of the Operational Research Society*, vol. 62, no. 9, pp. 1666–1687, 2011.
- [219] W. Contreras-Miranda, V. Cloquell-Ballester, and M. Owen de Contreras, “Las técnicas de decisión multicriterio en la selección de componentes estructurales, a partir de la tecnología de la madera, para construcción de viviendas sociales en venezuela,” *Madera y bosques*, vol. 16, no. 3, pp. 7–22, 2010.
- [220] J. M. Moreno-Jimenez and L. G. Vargas, “A probabilistic study of preference structures in the analytic hierarchy process with interval judgments,” *Mathematical and Computer Modelling*, vol. 17, no. 4-5, pp. 73–81, 1993.
- [221] B. Vahdani and H. Hadipour, “Extension of the electre method based on interval-valued fuzzy sets,” *Soft Computing*, vol. 15, no. 3, pp. 569–579, 2011.
- [222] M. R. B. Lemass, “A decision support methodology for remediation planning of concrete bridges,” *Sciences*, vol. 1, pp. 1–2011, 2011.
- [223] C. Parra, “Informe final del proyecto de confiabilidad. empresa de transporte de gas. resultados de la auditoría integral del modelo de gestión de mantenimiento/icogam: Ingeniería de confiabilidad operacional, gestión de activos y mantenimiento,” *ICOAM*, 03 2013.
- [224] M. Rashidi, M. Ghodrati, B. Samali, B. Kendall, and C. Zhang, “Modelado correctivo de puentes de acero mediante la aplicación del proceso de jerarquía analítica (ahp),” *Applied Sciences*, vol. 7, no. 2, p. 168, 2017.
- [225] E. M. Barzallo Coronel and P. E. Chasijuan Moreno, “Selección de energías renovables en ambientes urbanos aplicando métodos multicriterio y lógica difusa, estudio de caso ciudad de cuenca,” B.S. thesis, Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador, 2018.
- [226] T. Saaty, “The analytic hierarchy process mcgraw hill, new york,” *Agricultural Economics Review*, vol. 70, 1980.
- [227] E. W. Ngai and E. Chan, “Evaluation of knowledge management tools using ahp,” *Expert systems with applications*, vol. 29, no. 4, pp. 889–899, 2005.
- [228] P. R. Drake, D. M. Lee, and M. Hussain, “O modelo de portfólio de compra enxuto e ágil,” *Gestão da Cadeia de Suprimentos: An International Journal*, 2013.
- [229] R. Al-Aomar and M. Hussain, “Exploration and prioritization of lean techniques in a hotel supply chain,” *International Journal of Lean Six Sigma*, 2019.
- [230] T. Saaty, “Fundamentals of multiple criteria decision making with the analytic hierarchy process,” *Pittsburgh: RSW Publications*, 1994.
- [231] J. Jiménez, “El proceso analítico jerárquico (ahp). fundamentos, metodología y aplicaciones,” *Rect@ Revista Electrónica de Comunicaciones y Trabajos de ASEPUMA*, vol. 1, pp. 28–77, 2002.

- [232] A. Ganguly and D. N. Merino, *Multi-Criteria Analysis*. Rolla: American Society for Engineering Management (ASEM), 2010.
- [233] J. Aznar Bellver and F. Guijarro Martínez, *Nuevos métodos de valoración. Modelos multicriterio*. Editorial Universitat Politècnica de València, 2012.
- [234] C. Parra and A. C. Márquez, “Aplicación de la técnica de proceso de análisis jerárquico (ahp) en los sistemas de refinación y producción de la industria petrolera venezolana,” *ICOGAM*, 2004.
- [235] C. Parra and A. Crespo, *Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad aplicada a la Gestión de Activos*. INGECON, 2012.
- [236] T. L. Saaty, “How to make a decision: the analytic hierarchy process,” *European journal of operational research*, vol. 48, no. 1, pp. 9–26, 1990.
- [237] Y. Wind and T. L. Saaty, “Marketing applications of the analytic hierarchy process,” *Management science*, vol. 26, no. 7, pp. 641–658, 1980.
- [238] T. L. Saaty, “Decision making with the analytic hierarchy process,” *International journal of services sciences*, vol. 1, no. 1, pp. 83–98, 2008.
- [239] T. Saaty, “Fundamentals of the analytic network process,” in *Proceedings of the 5th international symposium on the analytic hierarchy process*, 1999, pp. 12–14.
- [240] S. Carpitella, I. Mzougui, J. Benítez, F. Carpitella, A. Certa, J. Izquierdo, and M. La Cascia, “A risk evaluation framework for the best maintenance strategy: The case of a marine salt manufacture firm,” *Reliability Engineering & System Safety*, vol. 205, p. 107265, 2021.
- [241] Z. Tan, J. Li, Z. Wu, J. Zheng, and W. He, “An evaluation of maintenance strategy using risk based inspection,” *Safety Science*, vol. 49, no. 6, pp. 852–860, 2011. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925753511000233>
- [242] M. Shafiee, A. Labib, J. Maiti, and A. Starr, “Maintenance strategy selection for multi-component systems using a combined analytic network process and cost-risk criticality model,” *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part O: Journal of Risk and Reliability*, vol. 233, no. 2, pp. 89–104, 2019.
- [243] G. Gupta and R. Mishra, “Identification of critical components using anp for implementation of reliability centered maintenance,” *Procedia CIRP*, vol. 69, pp. 905–909, 2018.
- [244] D. Vujanović, V. Momčilović, N. Bojović, and V. Papić, “Evaluation of vehicle fleet maintenance management indicators by application of dematel and anp,” *Expert Systems with Applications*, vol. 39, no. 12, pp. 10 552–10 563, 2012.
- [245] P. Chemweno, L. Pintelon, A. Van Horenbeek, and P. Muchiri, “Development of a risk assessment selection methodology for asset maintenance decision making:

- An analytic network process (anp) approach,” *International Journal of Production Economics*, vol. 170, pp. 663–676, 2015.
- [246] Z. Tan, J. Li, Z. Wu, J. Zheng, and W. He, “An evaluation of maintenance strategy using risk based inspection,” *Safety science*, vol. 49, no. 6, pp. 852–860, 2011.
- [247] M. Cannemi, M. García-Melón, P. Aragonés-Beltrán, and T. Gómez-Navarro, “Modeling decision making as a support tool for policy making on renewable energy development,” *Energy policy*, vol. 67, pp. 127–137, 2014.
- [248] T. L. Saaty, “Fundamentals of the analytic network process—multiple networks with benefits, costs, opportunities and risks,” *journal of systems science and systems engineering*, vol. 13, no. 3, pp. 348–379, 2004.
- [249] Y. Hu, S. Xiao, J. Wen, and J. Li, “An anp-multi-criteria-based methodology to construct maintenance networks for agricultural machinery cluster in a balanced scorecard context,” *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 158, pp. 1–10, 2019.
- [250] T. L. Saaty and L. G. Vargas, “The analytic network process,” in *Decision making with the analytic network process*. Springer, 2013, pp. 1–40.
- [251] A. Baviera-Puig, G. García-Martínez, and T. Gómez-Navarro, “Propuesta metodológica mediante anp para la evaluación de las memorias de sostenibilidad del sector agroalimentario español,” *Economía Agraria y Recursos Naturales*, vol. 14, no. 1380-2016-115463, pp. 81–101, 2014.
- [252] P. G. Gómez, “Una propuesta metodológica para la aplicación del proceso analítico jerárquico en la selección de aerogeneradores,” Ph.D. dissertation, Universidad CEU-Cardenal Herrera, 2010.
- [253] T. L. Saaty, L. G. Vargas *et al.*, *Decision making with the analytic network process*. Springer, 2006, vol. 282.
- [254] M. Giannakis, R. Dubey, I. Vlachos, and Y. Ju, “Supplier sustainability performance evaluation using the analytic network process,” *Journal of cleaner production*, vol. 247, p. 119439, 2020.
- [255] T. L. Saaty, *Decision making for leaders: the analytic hierarchy process for decisions in a complex world*. RWS publications, 1990.
- [256] T. Saaty, *Decision making with dependence and feedback: The analytic network process*. RWS publications Pittsburgh, 1996, vol. 4922.
- [257] M. Simwanda, Y. Murayama, and M. Ranagalage, “Modeling the drivers of urban land use changes in lusaka, zambia using multi-criteria evaluation: An analytic network process approach,” *Land Use Policy*, vol. 92, p. 104441, 2020. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264837719315121>
- [258] S. Kheybari, F. M. Rezaie, and H. Farazmand, “Analytic network process: An overview of applications,” *Applied Mathematics and Computation*, vol. 367, p.

- 124780, Feb. 2020. [Online]. Available: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0096300319307726>
- [259] S. Mir, M. Bhat, G. Rather, and D. Mattoo, “Groundwater Potential Zonation using Integration of Remote Sensing and AHP/ANP Approach in North Kashmir, Western Himalaya, India,” *Remote Sensing of Land*, vol. 5, pp. 41–58, May 2021.
- [260] K. M. Neaupane and M. Piantanakulchai, “Analytic network process model for landslide hazard zonation,” *Engineering Geology*, vol. 85, no. 3-4, pp. 281–294, 2006.
- [261] D. Díaz Martín, “Aplicación de las metodologías dpsir, anp y ars en el manejo y conservación del parque nacional waraira repano, venezuela,” Ph.D. dissertation, Universitat Politècnica de València, 2015.
- [262] E. R. Ramírez Olivares, “Análisis de la problemática de las pymes de la industria minera de la iv región de chile. estudio de actores participantes mediante ars y anp.” Ph.D. dissertation, Universitat Politècnica de València, 2015.
- [263] “historia UPS - UPS.” [Online]. Available: <https://www.ups.edu.ec/razon-de-ser>

## A. ANEXOS

### A.1. Cuestionario a profesionales de mantenimiento



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA  
SALESIANA  
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA



Estimado:

La presente encuesta tiene como objetivo, obtener información para el desarrollo del trabajo de titulación: **“MODELO DE AUDITORÍA PARA LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO”**, misma que será utilizada única y exclusivamente con fines académicos, por tal motivo, solicitamos contestar a las siguientes preguntas de manera veraz.

La encuesta se encuentra estructurada en tres secciones: la primera hace referencia a la información general del encuestado, en la segunda se busca conocer el nivel de experiencia del encuestado en el área de mantenimiento y en la última sección, se encuentran los criterios y subcriterios para la gestión de mantenimiento que son motivo de análisis.

#### 1. Información General del Encuestado

##### ■ Nivel Académico

Secundaria

Tercer Nivel

Maestría

Doctorado

##### ■ Indique cuál es su ocupación actual

---

##### ■ Indique el campo laboral en el cuál que se desempeña

Industrial

Académico

Industrial y académico

▪ **¿Cuántas personas laboran en su empresa/institución?**

Entre 20 y 50

Entre 70 y 90

Entre 50 y 70

Mas de 100

**2. Nivel de experiencia en el campo del mantenimiento**

▪ **¿Cuántos años de experiencia laboral posee en el campo del mantenimiento?**

Entre 5 y 10

Entre 15 y 20

Entre 10 y 15

Baja experiencia laboral

▪ **¿Tiene Usted conocimiento sobre gestión de mantenimiento?**

Si

No

▪ **Posee Usted conocimiento sobre Gestión de Activos**

Si

No

**3. Criterios y subcriterios de auditoría para la gestión de mantenimiento**

Estimado encuestado, esta sección tiene por objetivo realizar una selección de los subcriterios que deberían evaluarse en una auditoría de gestión de mantenimiento.

Para esto se adjunta una tabla de apoyo para una mejor comprensión de los criterios y subcriterios que serán motivo de análisis, por lo que solicitamos se realice una revisión previa de la misma.

**Nota:** La norma ISO 19011:2018, define un criterio de auditoría como un “Conjunto de requisitos usados como referencia frente a la cual se compara la evidencia objetiva.”

▪ **Criterio 1**

**Organización general:** La organización general de la empresa se centra en la estructura y los modos de actuación para conseguir que la empresa logre los objetivos empresariales que tienen planteados.

Subcriterios		Descripción	Observaciones
<input type="checkbox"/>	Requisitos de alta gerencia	Los requisitos de alta gerencia son los objetivos institucionales que una organización proyecta lograr a través de su sistema de gestión de mantenimiento.	
<input type="checkbox"/>	Plan integral de gestión de activos	Un plan integral de gestión de activos involucra un conjunto de procesos, procedimientos y herramientas que trabajan de forma conjunta para generar mayor valor en los activos	
<input type="checkbox"/>	Estrategia y objetivos de mantenimiento	Los objetivos de mantenimiento traducen los requisitos de alta gerencia en actividades las cuales alinean las estrategias, las políticas, los procesos, los recursos y responsabilidades que se seguirán para la consecución de mencionados objetivos.	
<input type="checkbox"/>	Estructura organizacional (organigrama)	La estructura organizacional u organigrama representa la línea de jerarquía que existe entre los departamentos de una empresa y nos indica la ubicación del mantenimiento dentro de la empresa.	
<input type="checkbox"/>	Comunicación entre departamentos	La comunicación entre departamentos es una herramienta estratégica una correcta transmisión de la información promoverá un mejor desempeño del departamento en general.	
<b>Propuestas</b>			
•			
•			
•			
•			
•			

## ■ Criterio 2

**Control financiero de mantenimiento y KPIS:** El monitoreo financiero de mantenimiento puede entenderse como el análisis del estado de los presupuestos asignados al departamento de mantenimiento y la forma en la que han sido utilizados, por otro lado, los KPI o Indicadores Clave de Desempeño, miden el nivel del desempeño de los procesos que se lleven a cabo dentro de la empresa.

Subcriterios		Descripción	Observaciones
<input type="checkbox"/>	Presupuesto de mantenimiento	Para lograr el éxito en la gestión de mantenimiento se requiere de una elaboración anticipada de un presupuesto de mantenimiento estos cálculos son proyecciones de inversión que pueden o no materializarse.	
<input type="checkbox"/>	Costos de mantenimiento	El cálculo del indicador costos de mantenimiento permite conocer hasta donde es posible presupuestar actividades tanto para el mantenimiento planificado como para el mantenimiento no planificado.	
<b>Propuestas</b>			
•			
•			
•			

### ■ Criterio 3

**Tercerización:** Tercerización o subcontratación de mantenimiento es una práctica llevada a cabo por una empresa que consiste en contratar a otra firma para que preste sus servicios durante un periodo limitado de tiempo

Subcriterios		Descripción	Observaciones
<input type="checkbox"/>	Política de contratación de personal de mantenimiento	Para tercerizar actividades de mantenimiento, es necesario establecer una política de contratación en función de las necesidades de la empresa y el presupuesto, pues existen en el mercado varias empresas que ofrecen solventar estas necesidades.	
<b>Propuestas</b>			
•			
•			
•			
•			

### ■ Criterio 4

**Modelos de jerarquización basado en riesgos:** Los modelos de jerarquización basado en riesgos permiten establecer un orden de los procesos, subdividir los mismos en secciones que pueden ser manejadas de manera controlable, los motivos de priorización pueden variar según las necesidades de la organización (riesgo).

Subcriterios		Descripción	Observaciones
<input type="checkbox"/>	Gestión de los procesos de seguridad, salud y medio ambiente	La gestión de los procesos de seguridad, salud y ambiente corresponden a una revisión y documentación minuciosa de cada paso de un trabajo, a fin de identificar peligros potenciales existentes, esto con el objetivo de reducir o eliminar los mismos, garantizando siempre el bienestar del personal.	
<input type="checkbox"/>	Priorización de equipos (criticidad)	La priorización de equipos es una metodología empleada para el proceso de toma de decisiones, en esta, los equipos son jerarquizados considerando su impacto global.	
<b>Propuestas</b>			
•			
•			
•			
•			
•			

### ■ Criterio 5

**Recursos humanos:** Recursos humanos es un departamento dentro de las empresas en el que se gestiona todo lo relacionado con las personas que trabajan en ella.

Subcriterios		Descripción	Observaciones
<input type="checkbox"/>	Proceso de selección de personal	El objetivo del proceso de selección de personal es elegir al candidato que se encuentre mejor calificado, y que su trabajo beneficie al departamento, por lo tanto, es necesario que el proceso de selección tenga fases definidas para este proceso.	
<input type="checkbox"/>	Capacitación y entrenamiento	La implementación de un programa de capacitación para personal de mantenimiento requiere una inversión de recursos económicos, para utilizar eficientemente dichos recursos es aconsejable identificar las necesidades de capacitación del personal.	
<input type="checkbox"/>	Certificación de personal	Una certificación de personal ayuda a la organización a aumentar su confiabilidad y prestigio.	
<input type="checkbox"/>	Motivación al personal	La motivación al personal es la base de la productividad y eficiencia de una empresa, mantener a los empleados en un entorno de trabajo adecuado, con una comunicación eficiente, implicados en temas de toma de decisiones, entre otras, beneficiará su desempeño.	
<b>Propuestas</b>			
•			
•			

#### ■ Criterio 6

**Manejo de inventario de bodega:** El manejo de inventario de bodega tiene como objetivo mejorar el proceso productivo de una empresa.

Subcriterios		Descripción	Observaciones
<input type="checkbox"/>	Inventario valorado y etiquetado de ítems	Un correcto etiquetado ayuda a que los repuestos sean ubicados de forma rápida y juntamente con el inventario se logra una administración eficiente del movimiento y almacenamiento de los recursos existentes	
<input type="checkbox"/>	Gestión de stocks de bodega	Una adecuada gestión de stocks ayuda a la clasificación, ubicación y manejo de materiales, además evita prolongar el tiempo de espera, garantizando así que el sistema funcione de forma eficiente.	
<b>Propuestas</b>			
•			
•			

#### ■ Criterio 7

**Procesos de programación, planificación y optimización de planes:** Es importante una programación adecuada, para dar cumplimiento eficaz de las actividades que han sido incluidas en el plan de mantenimiento para que las mismas sean ejecutadas sin contratiempos y se realice una adecuada designación de personal, materiales, repuestos y equipos de apoyo, lo que optimizará las actividades de mantenimiento.

Subcriterios		Descripción	Observaciones
<input type="checkbox"/>	Políticas para la planificación	Las políticas para la planificación las determinan la gerencia de mantenimiento, estas constan de una planificación para políticas de ejecución de cómo se van a realizar las actividades.	
<input type="checkbox"/>	Planificación y programación de actividades de mantenimiento	Una planificación y programación adecuada es importante, para cumplir con las actividades establecidas en el plan de mantenimiento en los tiempos programados, con una asignación de personal, materiales, repuestos y equipos de apoyo necesarios.	
<input type="checkbox"/>	Planes de mantenimiento por condición	Las técnicas de mantenimiento predictivo son realizadas con el objetivo de caracterizar el estado de una máquina, su objetivo principal, es reducir gastos y accidentes, optimizando la productividad.	
<input type="checkbox"/>	Control de los planes de mantenimiento	El control de los planes de mantenimiento involucra una serie de actividades que se llevan a cabo para garantizar eficiencia y eficacia.	
<b>Propuestas</b>			
•			
•			

### ■ Criterio 8

**Manejo de Mantenimiento:** Manejo de mantenimiento tiene como objetivo dirigir y controlar todas aquellas actividades que deben realizarse a los activos.

Subcriterios		Descripción	Observaciones
<input type="checkbox"/>	Ingeniería de mantenimiento	La ingeniería de mantenimiento se encarga de guiar el análisis y desarrollo de técnicas, para la optimización de equipos, procesos y procedimientos con el objetivo de mejorar los procesos de mantenimiento de una empresa.	
<input type="checkbox"/>	Mantenimiento predictivo	El mantenimiento predictivo conjuga una serie de técnicas instrumentadas y análisis de variables que permiten caracterizar el estado de los equipos respecto a fallos potenciales existentes.	
<input type="checkbox"/>	Mantenimiento correctivo	El mantenimiento correctivo es un proceso que consiste básicamente en dar solución inmediata a una falla en un equipo.	
<input type="checkbox"/>	Mantenimiento preventivo	El mantenimiento preventivo es aquel que se realiza de forma previa, evitando en lo posible la ocurrencia de fallos, esto, a través de diferentes técnicas de monitoreo planificadas.	
<input type="checkbox"/>	Gestión del rendimiento	Gestión del rendimiento es un proceso que adopta una empresa con el objetivo de mantenerse productiva y competitiva a través de medidas que garanticen la eficiencia de los empleados.	
<input type="checkbox"/>	Inspecciones	Actividades de control de los procesos que tienen como finalidad verificar el nivel de desempeño de los requisitos o exigencias.	
<b>Propuestas</b>			
•			
•			
•			
•			

### ■ Criterio 9

**Ejecución de mantenimiento:** Ejecución de Mantenimiento es la última fase del proceso de mantenimiento, la cual debe ser acompañada con un eficiente plan de mantenimiento, el cual indique las actividades a realizar, su frecuencia, duración.

Subcriterios		Descripción	Observaciones
<input type="checkbox"/>	Sistemas de información	Le permite a la organización de mantenimiento manejar de forma óptima toda la información de mantenimiento como: registro de fallas, programación de mantenimiento, gastos, información sobre equipos, averías, etc.	
<input type="checkbox"/>	Información sobre averías	Dentro de la información sobre averías se incluye la identificación a detalle de los desperfectos existentes, la causa del fallo y las sugerencias de solución	
<input type="checkbox"/>	Documentos de mantenimiento	Los documentos de mantenimiento recopilan información sobre el desempeño de los activos, el modelo de mantenimiento, los procedimientos que se realizan dentro de la empresa, entre otros.	
<input type="checkbox"/>	Gestión de órdenes de trabajo	Las órdenes de trabajo son documentos en los cuales se sintetizan las instrucciones para realizar determinadas actividades.	
<input type="checkbox"/>	Documentación y análisis de fallos, efectos y consecuencias	Análisis de las fallas son procedimientos que revelan cuáles son los problemas frecuentes en los equipos, la documentación generada permite obtener datos que sirven como retroalimentación en las actividades de mantenimiento.	
<b>Propuestas</b>			
•			
•			
•			
•			
•			

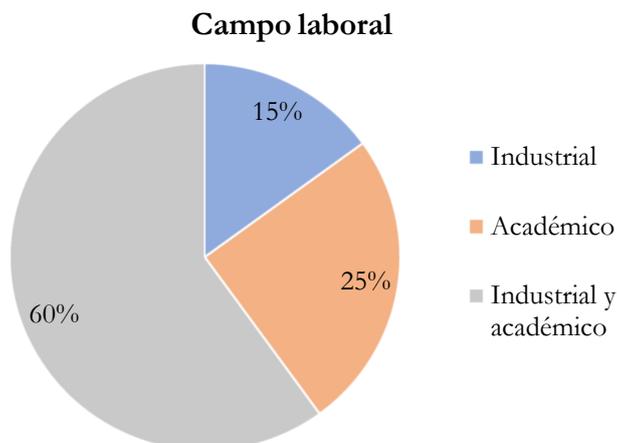
## A.1.1. Preguntas

Tabla A.1: Preguntas Fuente: Autores

PREGUNTA	SÍ	NO
<b>CRITERIO 1: Organización general</b>		
1.1. ¿Los requisitos de alta gerencia son aplicados de forma eficiente dentro de la empresa?		
1.2. ¿La empresa cuenta con un plan integral de gestión de activos, diseñado para implantar los diversos procesos y procedimientos propuestos para el desarrollo de las actividades que se realizan?		
1.3. ¿Existe una estrategia integral y objetivos de mantenimiento para las diferentes áreas de la empresa?		
1.4. ¿La estructura organizacional de la empresa involucra a la parte de mantenimiento?		
1.5. ¿Mantenimiento dispone de medios comunicación eficiente entre los diferentes departamentos o áreas?		
<b>CRITERIO 2: Monitoreo financiero de mantenimiento y KPIS</b>		
2.1. ¿La planificación para gastos de mantenimiento se realiza en concordancia con las metas y objetivos de la organización?		
2.2. ¿El área de mantenimiento cuenta con un presupuesto definido?		
2.3. ¿El área de mantenimiento calcula el retorno de inversión que existe posterior a las actividades de mantenimiento?		
<b>CRITERIO 3: Tercerización de actividades de mantenimiento</b>		
3.1. ¿Existe una política de contratación de personal de mantenimiento?		
<b>CRITERIO 4: Modelos de jerarquización basado en riesgos</b>		
4.1. ¿El departamento de mantenimiento tiene definida de forma clara la gestión de los procesos de seguridad, salud y medio ambiente?		
4.2. ¿La empresa cuenta con un modelo de priorización de equipos (criticidad) basados en riesgos?		
<b>CRITERIO 5: Talento humano</b>		
5.1. ¿Su empresa tiene establecido un proceso de selección de personal para el área de mantenimiento?		
5.2. ¿Para el área de mantenimiento se realizan talleres de capacitación y entrenamiento al personal?		
5.3. ¿Existen procesos de certificación de personal que implementen para el área de mantenimiento?		
5.4. ¿La empresa realiza acciones de motivación para reconocer el trabajo realizado por el personal de mantenimiento?		
<b>CRITERIO 6: Procesos de programación, planificación</b>		
6.1. ¿Existe un proceso detallado y eficiente de políticas para la planificación del mantenimiento?		
6.2. ¿Las estrategias de planificación y programación de actividades de mantenimiento están alineadas con el plan de mantenimiento?		
6.3. ¿Su empresa maneja procesos eficientes de planes de mantenimiento por condición: técnicas predictivas?		
6.4. ¿Existe un sistema de control de los planes de mantenimiento?		

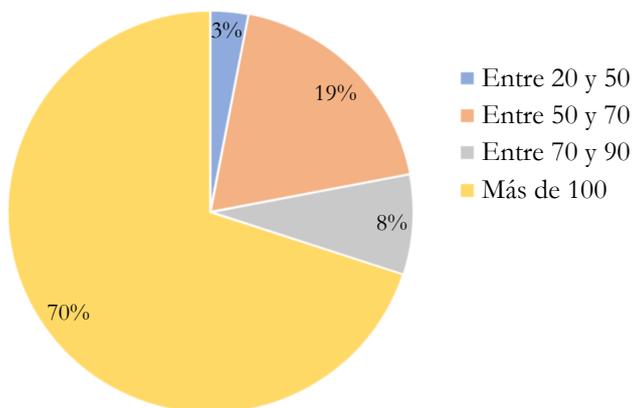
PREGUNTA	SÍ	NO
<b>CRITERIO 7: Manejo de mantenimiento</b>		
7.1. ¿En su empresa se realiza ingeniería de mantenimiento?		
7.2. ¿Dentro de su empresa se realizan actividades de mantenimiento predictivo?		
7.3. ¿Dentro de su empresa se realizan actividades de mantenimiento preventivo?		
7.4. ¿Dentro de su empresa se realizan actividades de mantenimiento correctivo?		
7.5. ¿La empresa considera la gestión de rendimiento?		
7.6. ¿Es común para su empresa realizar inspecciones a las actividades de mantenimiento?		
<b>CRITERIO 8: Ejecución de mantenimiento</b>		
8.1. ¿Su empresa cuenta con sistemas generales de información de documentos técnicos de mantenimiento?		
8.2. ¿El sistema de información de documentos, está en línea para toda la organización y se usa de forma amplia y eficiente?		
8.3. ¿Existen registros con información sobre averías en su empresa?		
8.4. ¿La empresa dispone de documentos de mantenimiento de las actividades que se realizan en los equipos?		
8.5. ¿La gestión de órdenes de trabajo ayuda a mejorar los procesos de programación y planificación del mantenimiento?		
8.6. ¿El departamento de mantenimiento cuenta con documentación acerca de análisis de fallos, efectos y consecuencias?		
<b>CRITERIO 9: Manejo de inventario de bodega de repuestos</b>		
9.1. ¿La administración de inventario valorado y etiquetado de ítems de bodega es controlada por una herramienta de soporte informática?		
9.2. ¿Existe una gestión de stocks de bodega de repuestos dentro de su empresa?		

## A.1.2. Tabulación de resultados sección 1 y 2



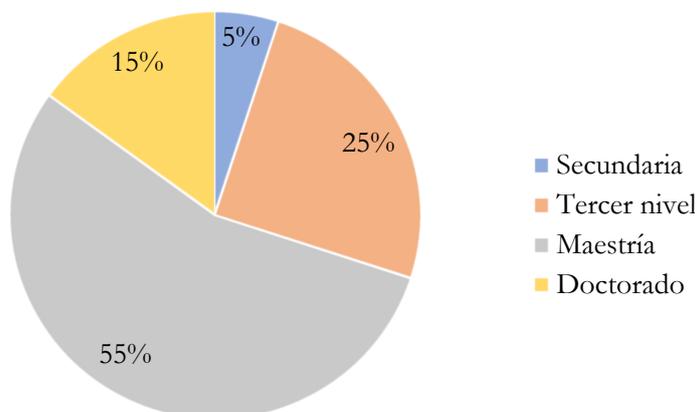
**Figura A.1:** Campo laboral de desempeño. **Fuente:** Autores.

**Número de personas que laboran en la  
empresa/institución**

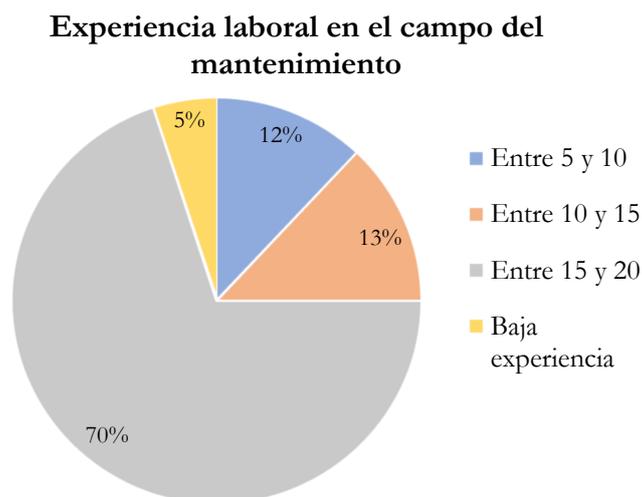


**Figura A.2:** Tamaño de la empresa/institución. **Fuente:** Autores.

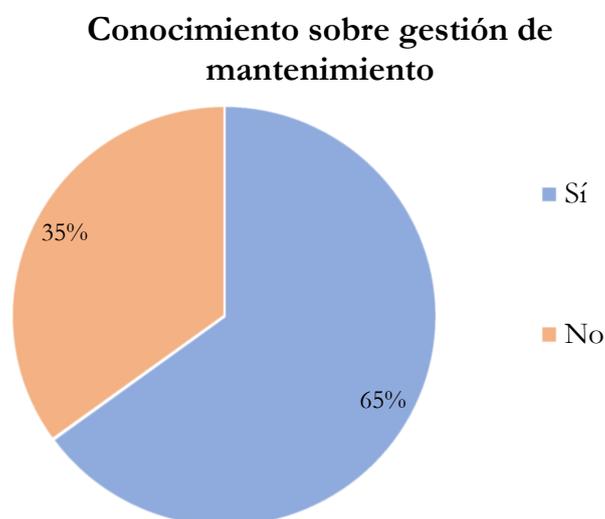
**Nivel académico**



**Figura A.3:** Nivel académico del encuestado. **Fuente:** Autores.



**Figura A.4:** Años de experiencia laboral del encuestado **Fuente:** Autores.



**Figura A.5:** Conocimiento sobre gestión de mantenimiento. **Fuente:** Autores.

### A.1.3. Tabulación de resultados sección 3

**Tabla A.2:** Tabulación de resultados del criterio organización general. **Fuente:** Autores

Subcriterios	Votos a favor	Votos en contra	Total
<b>Organización general</b>			
Requisitos de alta gerencia	11	4	15
Plan integral de gestión de activos	9	6	15
Política integral y objetivos de mantenimiento	10	5	15
Estructura organizacional (organigrama)	12	3	15
Comunicación entre departamentos	15	0	15
<b>Observaciones:</b>			
Cambiar política integral de gestión de activos por "Estrategia integral de gestión de activos".			

**Tabla A.3:** Tabulación de resultados de los criterios encuesta A.1 **Fuente:** Autores

Criterios	Votos a favor	Votos en contra	Total
Organización general	12	3	15
Monitoreo financiero de mantenimiento y KPIS	13	2	15
Tercerización	11	4	15
Modelos de jerarquización basado en riesgos	14	1	15
Recursos humanos	15	0	15
Procesos de programación, planificación y optimización de planes	10	5	15
Manejo de mantenimiento	12	3	15
Ejecución de mantenimiento	15	0	15
Manejo de inventario de bodega	11	4	15
<b>Observaciones:</b>			
Cambiar tercerización por “Tercerización de actividades de mantenimiento”.			
Cambiar recursos humanos por “Talento humano”.			
Para el criterio procesos de programación, planificación y optimización de planes, incluir “de mantenimiento”.			
Para el criterio manejo de inventario de bodega, incluir “de repuestos”.			

**Tabla A.4:** Tabulación de resultados del criterio control financiero. **Fuente:** Autores

Subcriterios	Votos a favor	Votos en contra	Total
Control financiero de mantenimiento y KPIS			
Presupuestos de mantenimiento	12	3	15
Costos de mantenimiento	10	5	15
Retorno de la inversión en mantenimiento	2	13	15
<b>Observaciones:</b>			
Cambiar costos de mantenimiento por “gastos de mantenimiento”.			
Cambiar control por “Monitoreo financiero de mantenimiento”.			

**Tabla A.5:** Tabulación de resultados del criterio tercerización. **Fuente:** Autores

Subcriterios	Votos a favor	Votos en contra	Total
<b>Tercerización</b>			
Política de contratación de personal de mantenimiento	12	3	15

**Tabla A.6:** Tabulación de resultados del criterio modelos de jerarquización. **Fuente:** Autores

Subcriterios	Votos a favor	Votos en contra	Total
<b>Modelos de jerarquización basado en riesgos</b>			
Gestión de los procesos de seguridad, salud y ambiente.	15	0	15
Priorización de equipos (criticidad)	13	2	15

**Tabla A.7:** Tabulación de resultados del criterio recursos humanos. **Fuente:** Autores

Subcriterios	Votos a favor	Votos en contra	Total
<b>Recursos humanos</b>			
Proceso de selección de personal de mantenimiento	15	0	15
Capacitación entrenamiento	14	1	15
Certificación de personal	13	2	15
Motivación al personal	15	0	15
<b>Observaciones:</b>			
Cambiar recursos humanos "Talento humano".			

**Tabla A.8:** Tabulación de resultados del criterio procesos de programación, planificación y optimización de planes. **Fuente:** Autores

Subcriterios	Votos a favor	Votos en contra	Total
<b>Procesos de programación, planificación y optimización de planes</b>			
Políticas para la contratación	12	3	15
Planificación y control de actividades para el mantenimiento	13	2	15
Planes de mantenimiento por condición	11	4	15
Control de los planes de mantenimiento	14	1	15
<b>Observaciones:</b>			
En el subcriterio planificación y control de actividades de mantenimiento, cambiar la palabra control por "programación"			

**Tabla A.9:** Tabulación de resultados manejo de mantenimiento. **Fuente:** Autores

Subcriterios	Votos a favor	Votos en contra	Total
<b>Manejo de mantenimiento</b>			
Ingeniería de mantenimiento	11	4	15
Mantenimiento predictivo	13	2	15
Mantenimiento correctivo	9	6	15
Mantenimiento preventivo	15	0	15
Gestión del rendimiento de mantenimiento	12	3	15
Inspecciones	11	4	15

**Tabla A.10:** Tabulación de resultados ejecución de mantenimiento. **Fuente:** Autores

Subcriterios	Votos a favor	Votos en contra	Total
<b>Ejecución de mantenimiento</b>			
Sistemas de información	11	4	15
Información sobre averías	13	2	15
Documentos de mantenimiento	9	6	15
Gestión de órdenes de trabajo	15	0	15
Documentación y análisis de fallos, efectos y consecuencias	12	3	15

**Tabla A.11:** Tabulación de resultados del criterio manejo de inventario. **Fuente:** Autores

Subcriterios	Votos a favor	Votos en contra	Total
<b>Manejo de inventario de bodega</b>			
Inventario valorado y etiquetado de ítems	12	3	15
Gestión de stocks	11	4	15
<b>Observaciones:</b>			
Para el subcriterio inventario valorado y etiquetado de ítems, incluir “de bodega”			
Para el subcriterio gestión de stocks, incluir “de bodega de repuestos”			

## A.1.4. Coeficiente Alpha de Cronbach

Tabla A.12: Cálculo coeficiente Alpha de Cronbach

Factor	Ítem	Alpha de Cronbach
<b>OG: Organización general</b>	OG1: ¿Los requisitos de alta gerencia son aplicados de forma eficiente dentro de la empresa?	0,746466431
	OG2: ¿La empresa cuenta con un plan integral de gestión de activos, diseñado para implantar los diversos procesos y procedimientos propuestos para el desarrollo de las tareas que se realizan?	
	OG3: ¿Existe una estrategia integral y objetivos de mantenimiento para las diferentes áreas de la empresa?	
	OG4: ¿La estructura organizacional de la empresa involucra a la parte de mantenimiento?	
	OG5: ¿Mantenimiento dispone de medios comunicación eficiente entre los diferentes departamentos o áreas?	
<b>MF: Monitoreo financiero de mantenimiento y KPIS</b>	MF1: ¿La planificación de gastos de mantenimiento se realiza en concordancia con las metas y objetivos de la organización?	-7,71428571
	MF2: ¿El área de mantenimiento cuenta con un presupuesto definido?	
	MF3: ¿El área de mantenimiento cuenta con un análisis de retorno de inversión en actividades de mantenimiento?	
<b>TM: Tercerización de actividades de mantenimiento</b>	TM1: ¿Existe una política de contratación de personal de mantenimiento?	0,818181818
<b>MJ: Modelos de jerarquización basado en riesgos</b>	MJ1: ¿El departamento de mantenimiento tiene definida de forma clara la gestión de los procesos de seguridad, salud y medio ambiente?	0,872727273
	MJ2: ¿La empresa cuenta con un modelo de priorización de equipos (criticidad) basados en riesgos?	
<b>TH: Talento humano</b>	TH1: ¿Su empresa tiene establecido un proceso de selección de personal para el área de mantenimiento?	0,774703557
	TH2: ¿Para el área de mantenimiento se realizan talleres de capacitación y entrenamiento al personal?	
	TH3: ¿Existen procesos de certificación de personal que implementen para el área de mantenimiento?	

Factor	Ítem	Alpha de Cronbach
<b>PP: Procesos de programación planificación y optimización de planes de mantenimiento</b>	PP1: ¿Existe un proceso detallado y eficiente de políticas para la planificación del mantenimiento?	0,831309042
	PP2: ¿Las estrategias de planificación y programación de actividades de mantenimiento están alineadas con el plan de mantenimiento?	
	PP3: ¿Su empresa maneja procesos eficientes de planes de mantenimiento por condición: técnicas predictivas?	
	PP4: ¿Existe un sistema de control de los planes de mantenimiento?	
<b>MM: Manejo de mantenimiento</b>	MM1: ¿En su empresa se aplica ingeniería de mantenimiento?	0,766071429
	MM2: ¿Dentro de su empresa se realizan actividades de mantenimiento predictivo?	
	MM3: ¿Dentro de su empresa se realizan actividades de mantenimiento preventivo?	
	MM4: ¿Dentro de su empresa se realizan actividades de mantenimiento correctivo?	
	MM5: ¿La empresa considera la gestión de rendimiento?	
	MM6: ¿Es común para su empresa realizar inspecciones a las actividades de mantenimiento?	
<b>EM: Ejecución de mantenimiento</b>	EM1: ¿El sistema de información de documentos, está en línea para toda la organización y se usa de forma amplia y eficiente?	0,727077748
	EM2: ¿Existen registros con información sobre averías en su empresa?	
	EM3: ¿La empresa dispone de documentos de mantenimiento de las actividades que se realizan en los equipos?	
	EM4: ¿La gestión de órdenes de trabajo ayuda a mejorar los procesos de programación y planificación del mantenimiento?	
	EM5: ¿El departamento de mantenimiento cuenta con documentación acerca de análisis de fallos, efectos y consecuencias?	
	EM6: ¿Su empresa cuenta con sistemas generales de información de documentos técnicos de mantenimiento?	
<b>MI: Manejo de inventario de bodega de repuestos</b>	MI1: ¿La administración de inventario valorado y etiquetado de ítems de bodega es controlada por una herramienta de soporte informático?	0,91954023
	MI2: ¿Existe una gestión de stocks de bodega de repuestos dentro de su empresa?	

## A.2. Matrices de comparación pareada

### A.2.1. Comparativas de clústers respecto a ejecución de mantenimiento

COMPARATIVAS DE CLÚSTERS RESPECTO A EJECUCIÓN DE MANTENIMIENTO												
Criterios de Mantenimiento	Importancia					Igual	Importancia					Criterios de Mantenimiento
	Extrema	Muy Fuerte	Fuerte	Moderada			Moderada	Fuerte	Muy Fuerte	Extrema		
EM: Ejecución de mantenimiento												MI: Manejo de inventario de bodega de repuestos
EM: Ejecución de mantenimiento												PP: Procesos de programación, planificación, de planes de mantenimiento
MI: Manejo de inventario de bodega de repuestos												PP: Procesos de programación, planificación, de planes de mantenimiento

### A.2.2. Comparativas de clústers respecto a Manejo de Inventario

COMPARATIVAS DE CLÚSTERS RESPECTO A MANEJO DE INVENTARIO												
Criterios de Mantenimiento	Importancia					Igual	Importancia					Criterios de Mantenimiento
	Extrema	Muy Fuerte	Fuerte	Moderada			Moderada	Fuerte	Muy Fuerte	Extrema		
EM: Ejecución de mantenimiento												MI: Manejo de inventario de bodega de repuestos
												MM: Manejo de mantenimiento
												MF: Monitoreo financiero de mantenimiento y KPIS
												PP: Procesos de programación, planificación, de planes de mantenimiento
MI: Manejo de inventario de bodega de repuestos												MM: Manejo de mantenimiento
												MF: Monitoreo financiero de mantenimiento y KPIS
												PP: Procesos de programación, planificación, de planes de mantenimiento
MM: Manejo de mantenimiento												MF: Monitoreo financiero de mantenimiento y KPIS
MF: Monitoreo financiero de mantenimiento y KPIS												PP: Procesos de programación, planificación, de planes de mantenimiento

### A.2.3. Comparativas de clústers respecto a modelos de jerarquización, monitoreo financiero de mantenimiento y organización general

COMPARATIVAS DE CLÚSTERS RESPECTO A MODELOS DE JERARQUIZACIÓN												
Criterios de Mantenimiento	Importancia				Igual	Importancia				Criterios de Mantenimiento		
	Extrema	Muy Fuerte	Fuerte	Moderada		Moderada	Fuerte	Muy Fuerte	Extrema			
MM: Manejo de mantenimiento											MJ: Modelos de jerarquización basado en riesgos	
MJ: Modelos de jerarquización basado en riesgos											PP: Procesos de programación, planificación, de planes de mantenimiento	

COMPARATIVAS DE CLÚSTERS RESPECTO A MODELOS DE JERARQUIZACIÓN												
Criterios de Mantenimiento	Importancia				Igual	Importancia				Criterios de Mantenimiento		
	Extrema	Muy Fuerte	Fuerte	Moderada		Moderada	Fuerte	Muy Fuerte	Extrema			
EM: Ejecución del mantenimiento											OG: Organización General	
OG: Organización General											PP: Procesos de programación, planificación, de planes de mantenimiento	

COMPARATIVAS DE CLÚSTERS RESPECTO A MODELOS DE JERARQUIZACIÓN												
Criterios de Mantenimiento	Importancia				Igual	Importancia				Criterios de Mantenimiento		
	Extrema	Muy Fuerte	Fuerte	Moderada		Moderada	Fuerte	Muy Fuerte	Extrema			
MJ: Modelos de jerarquización basado en riesgos											MF: Monitoreo financiero de mantenimiento y KPIS	
											OG: Organización General	
											PP: Procesos de programación, planificación, de planes de mantenimiento	
											TH: Talento Humano	
MF: Monitoreo financiero de mantenimiento y KPIS											TM: Tercerización de mantenimiento	
											OG: Organización General	
											PP: Procesos de programación, planificación de planes	
											TH: Talento Humano	
											TM: Tercerización de mantenimiento	

Criterios de Mantenimiento	Importancia					Igual	Importancia					Criterios de Mantenimiento
	Extrema	Muy Fuerte	Fuerte	Moderada			Moderada	Fuerte	Muy Fuerte	Extrema		
OG: Organización General												PP: Procesos de programación, planificación, de planes de mantenimiento
												TH: Talento Humano
												TM: Tercerización de mantenimiento
PP: Procesos de programación, planificación, de planes de mantenimiento												TH: Talento Humano
												TM: Tercerización de mantenimiento
TH: Talento Humano												

**A.2.4. Comparativas de clústeres respecto a Procesos de programación, planificación, de planes de mantenimiento**

COMPARATIVAS DE CLÚSTERES RESPECTO A MODELOS DE JERARQUIZACIÓN												
Criterios de Mantenimiento	Importancia					Igual	Importancia					Criterios de Mantenimiento
	Extrema	Muy Fuerte	Fuerte	Moderada			Moderada	Fuerte	Muy Fuerte	Extrema		
EM: Ejecución del mantenimiento												MI: Manejo de inventario de bodega de repuestos
												MM: Manejo de mantenimiento
												MF: Monitoreo financiero de mantenimiento y KPIS
												OG: Organización General
MI: Manejo de inventario de bodega de repuestos												MM: Manejo de mantenimiento
												MF: Monitoreo financiero de mantenimiento y KPIS
												OG: Organización General
MM: Manejo de mantenimiento												MF: Monitoreo financiero de mantenimiento y KPIS
MF: Monitoreo financiero de mantenimiento y KPIS												OG: Organización General

**A.2.5. Comparativas de clústeres respecto a talento humano**

COMPARATIVAS DE CLÚSTERS RESPECTO A MODELOS DE JERARQUIZACIÓN												
Criterios de Mantenimiento	Importancia					Igual	Importancia					Criterios de Mantenimiento
	Extrema	Muy Fuerte	Fuerte	Moderada			Moderada	Fuerte	Muy Fuerte	Extrema		
EM: Ejecución del mantenimiento												MI: Manejo de inventario de bodega de repuestos
												MM: Manejo de mantenimiento
												MJ: Modelos de jerarquización basado en riesgos
												MF: Monitoreo financiero de mantenimiento y KPIS
												PP: Procesos de programación, planificación, de planes
												TH: Talento Humano
												TM: Tercerización de mantenimiento
MI: Manejo de inventario de bodega												MM: Manejo de mantenimiento
												MJ: Modelos de jerarquización basado en riesgos
												MF: Monitoreo financiero de mantenimiento y KPIS
												PP: Procesos de programación, planificación, de planes
												TH: Talento Humano
												TM: Tercerización de mantenimiento
MM: Manejo de mantenimiento												MJ: Modelos de jerarquización basado en riesgos
												MF: Monitoreo financiero de mantenimiento y KPIS
												PP: Procesos de programación, planificación, de planes
												TH: Talento Humano
												TM: Tercerización de mantenimiento
MJ: Modelos de jerarquización basado en riesgos												MF: Monitoreo financiero de mantenimiento y KPIS
												PP: Procesos de programación, planificación, de planes
												TH: Talento Humano
												TM: Tercerización de mantenimiento
MF: Monitoreo financiero de mantenimiento												PP: Procesos de programación, planificación, de planes
												TH: Talento Humano
												TM: Tercerización de mantenimiento
PP: Procesos de programación, planificación.												TH: Talento Humano
												TM: Tercerización de mantenimiento
TH: Talento Humano												

CONFIDENCIAL

## A.7. Petición de auditoría

Sr.

Ing. Fran Reinoso

**COORDINADOR DE LABORATORIOS DEL ÁREA MECÁNICA**

Presente

De nuestra consideración:

Aprovechamos la oportunidad para hacer extensivo nuestro deseo de éxito en las funciones que viene cumpliendo..

Por medio de la presente, nos permitimos presentar a su persona, una propuesta de auditoría para los laboratorios del Área Mecánica, que tiene por objetivo determinar el nivel de madurez de las actividades de mantenimiento y verificar el cumplimiento de los criterios exigidos. Esta propuesta de auditoría es realizada como parte de nuestro trabajo de titulación, por lo que solicitamos nos permita aplicar la propuesta antes mencionada para los laboratorios del área mecánica.

De antemano agradecemos la favorable acogida que sepa dar a nuestra petición.

Atentamente

Mayra Viviana Piedmag Pérez

**Auditor 1**

Ánderson Andrés Mogollón Espinoza

**Auditor 2**

## **A.8. Notificación de inicio de la auditoría**

### **A.8.1. Laboratorios del Área Mecánica de la Universidad Politécnica Salesiana**

Sr.

Ing. Fran Reinoso

**COORDINADOR DE LABORATORIOS DE MECÁNICA**

Presente

De nuestra consideración:

En primer lugar, reciba un cordial y atento saludo deseándole éxitos en las funciones que usted dirige.

Por medio de la presente, hacemos de su conocimiento que a partir del 12 de Julio de 2021 se dará inicio al proceso de auditoría de la gestión de mantenimiento a los laboratorios de ensayos destructivos y centro de mecanizado (CNC). Además, solicitamos de la manera más comedida, nos facilite la información pertinente para la planificación e inicio a la auditoría.

A continuación señalamos los documentos necesarios:

- Planes de Mantenimiento
- Manuales de funciones
- Documentación de las actividades de mantenimiento

Atentamente

Mayra Viviana Piedmag Pérez

**Auditor 1**

Ánderson Andrés Mogollón Espinoza

**Auditor 2**

## A.9. Memorándum de auditoría



### MEMORÁNDUM DE COMUNICACIÓN DEL EQUIPO AUDITOR



Cuenca, 11 de Julio de 2021

**Para:** Coordinador de laboratorios del área Mecánica de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca

**De:** Mayra Piedmag (Auditor 1), Anderson Mogollón (Auditor 2)

**Asunto:** Comunicado del proceso de auditoría para la gestión de mantenimiento

Un saludo cordial y atento, por medio del presente, nos permitimos informarle que el día lunes 12 de julio de 2021, se llevará a cabo el proceso de auditoría para la gestión de mantenimiento, de los laboratorios de Ensayos Destructivos y Centro de Mecanizado CNC.

Nos suscribimos de usted, no sin antes expresarle nuestra consideración y estima personal.

Mayra Viviana Piedmag Pérez

**Auditor 1**

Anderson Andrés Mogollón Espinoza

**Auditor 2**

### **A.10. Acta de cierre de auditoría**

En la ciudad de Cuenca el día viernes 16 de Julio, siendo las 12h:00 con 30 min, se realizó la reunión de cierre del proceso auditoría llevado a cabo por parte de los estudiantes Mayra Piedmag y Ánderon Mogollón.

En esta reunión fue expuesto el informe de auditoría al coordinador de laboratorios del Área Mecánica, Ing. Fran Reinoso, sentando así por escrito las conformidades y no conformidades encontradas durante el proceso de auditoría, y tras el análisis de la información proporcionada, además, se hace entrega formal del plan de acción sugerido.

Para constancia firman:

Mayra Viviana Piedmag Pérez

**Auditor 1**

Ánderon Andrés Mogollón Espinoza

**Auditor 2**

Ing. Fran Reinoso Avecillas  
**Coordinador de laboratorios**



**SALESIAN POLYTECHNIC UNIVERSITY**

**CUENCA HEADQUARTERS**

**MECHANICAL ENGINEERING CAREER**

---

Degree work prior to obtaining  
the degree of Mechanical  
Engineer

---

**TECHNICAL PROJECT:**

**“AUDIT MODEL FOR THE MANAGEMENT OF  
MAINTENANCE OF PHYSICAL ASSETS. STUDY CASE:  
LABORATORIES OF THE MECHANICAL AREA OF  
THE SALESIAN POLYTECHNIC UNIVERSITY CUENCA  
HEADQUARTERS”**

---

**Authors:**

Anderson Andrés Mogollón Espinoza

Mayra Viviana Piedmag Pérez

**Tutor:**

Dr. René Vinicio Sánchez Loja.

Cuenca - Ecuador

2021