

Universidad Católica de Santa María
Escuela de Postgrado
Doctorado en Ingeniería Mecánica

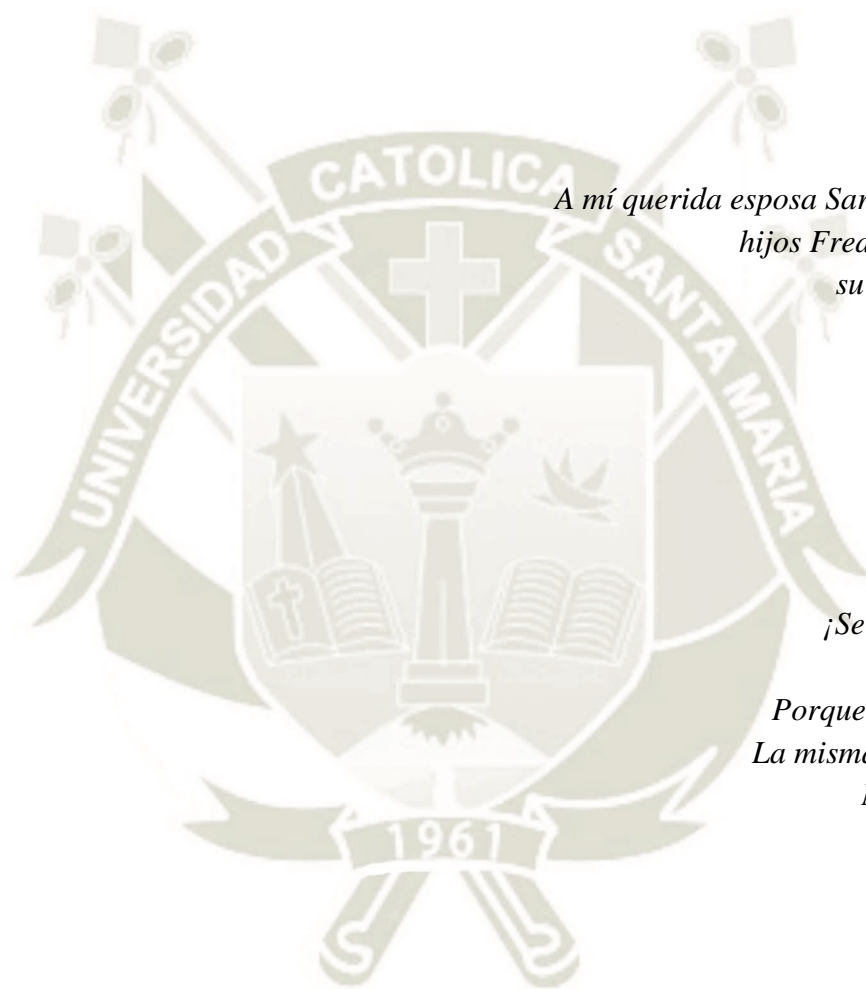


**METODOLOGÍA PARA ESTIMAR LA VIDA
ÚTIL DE COMPONENTES, SISTEMAS Y
EQUIPOS MECÁNICOS BASADO EN
FACTORES TÉCNICOS Y OPERACIONALES
CON APROXIMACIÓN A LA NORMA ISO-
15686**

Tesis presentada por el Maestro:
Valencia Salas, Mario José
Para optar el Grado Académico de:
Doctor en Ingeniería Mecánica

Asesor:
Dr. Alcázar Rojas, Hermann Enrique

Arequipa – Perú
2019



*A mí querida esposa Sara y mis adorados
hijos Freddy y Chavely por
su apoyo constante.*

*¡Se fuerte y valiente!
No tengas miedo
Porque el Señor tu Dios,
La misma ira delante de ti
No te fallara ni te
abandonara*

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN

ABSTRACT

CAPITULO I: INTRODUCCION..... 1

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.2. ENUNCIADO DEL PROBLEMA	3
1.3. HIPÓTESIS GENERAL.....	3
1.3.1. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	3
1.4. OBJETIVOS	4
1.4.1. OBJETIVO GENERAL	4
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
1.5. JUSTIFICACIÓN TÉCNICA	5
1.6. JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA	6
1.7. ALCANCES Y LIMITES	6

CAPITULO II: MARCO TEORICO..... 7

2.1. INTRODUCCIÓN	7
2.2. DEFINICIÓN DE GESTIÓN DE ACTIVOS	7
2.3. CODIGOS O NORMAS TÉCNICAS DE GESTIÓN DE ACTIVOS	9
2.3.1. GESTIÓN DE ACTIVOS: MODELO DE LA ESPECIFICACIONES PAS 55-2008	9
2.3.2. GESTIÓN DE ACTIVOS: NORMAS TÉCNICAS UNE - ISO 55000, 55001; 55002: 2014 .	10
2.3.3. NORMA UNE-ISO 55001:2014	11
2.4. TAXONOMÍA DE LOS ACTIVOS FÍSICOS	12
2.4.1. DEFINICIÓN DE TAXONOMÍA O ÁRBOL DE EQUIPOS	12
2.5. NORMA ISO 14224	13
2.5.1. DEFINICIÓN DE EQUIPO MECÁNICO	14
2.5.2. DEFINICIÓN DE SISTEMA	14
2.5.3. DEFINICIÓN DE SUBSISTEMA	15
2.5.4. DEFINICIÓN DE COMPONENTE.....	15
2.5.5. DEFINICIÓN DE PARTE	15
2.6. DEFINICIÓN DE FACTORES TÉCNICOS.....	15
2.7. DEFINICIÓN DE FACTORES OPERACIONALES	16
2.8. CLASIFICACIÓN DE EQUIPOS MECANICOS Y APLICACIÓN	16
2.9. APLICACIÓN NORMA ISO 14224 PARA UNA ELECTROBOMBA	17
2.10. APLICACIÓN NORMA ISO 14224 UN TRACTO CAMIÓN	19
2.11. APLICACIÓN NORMA ISO 14224 UNA CENTRAL TÉRMICA A VAPOR GENERADORA DE ELECTRICIDAD	21

2.12. CONCEPTO DE VIDA ÚTIL	24
2.12.1. TIPOS DE VIDA ÚTIL	24
2.13. FACTORES QUE LIMITAN LA VIDA ÚTIL DE LOS ACTIVOS FÍSICOS	26
2.13.1. BENEFICIOS DE ESTIMACIÓN VIDA ÚTIL DE ACTIVOS FÍSICOS.....	26
2.14. METODOLOGÍA ESTIMACIÓN DE VIDA ÚTIL MÉTODO POR FACTORES NORMA ISO 15686-8	27
2.14.1. DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO SEGÚN NORMA ISO 15686-8.....	27
2.15. ESTUDIO DEL ARTE	29

CAPITULO III: METODOLOGÍA ESTIMACIÓN DE VIDA ÚTIL PARA
COMPONENTES, SISTEMAS Y EQUIPOS MECÁNICOS..... 35

3.1. INTRODUCCIÓN	35
3.2. PROPUESTA METODOLÓGICA ESTIMACIÓN DE VIDA ÚTIL POR FACTORES TÉCNICOS Y OPERACIONALES EQUIPOS MECANICOS	36
3.2.1. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE FORMULAR ESTIMACIÓN DE VIDA ÚTIL POR MÉTODOS DE FACTORES.....	37
3.3. PROPUESTA METODOLÓGICA ESTIMACIÓN VIDA ÚTIL DE COMPONENTES POR FACTORES TÉCNICOS Y OPERACIONALES DE EQUIPO MECÁNICO....	38
3.3.1 FASES MODELO ESTIMACIÓN VIDA ÚTIL DE COMPONENTES DE EQUIPO MECÁNICO ..	38
3.4. PROPUESTA METODOLÓGICA ESTIMACIÓN VIDA ÚTIL DE SISTEMAS POR FACTORES TECNICOS, OPERACIONALES Y COSTO DE COMPONENTES	44
3.4.1 FASES MODELO ESTIMACIÓN DE VIDA ÚTIL DE SISTEMAS DE EQUIPO MECÁNICO.....	44
3.5. PROPUESTA METODOLÓGICA ESTIMACIÓN VIDA ÚTIL DE EQUIPO MECÁNICO POR FACTORES TÉCNICOS, OPERACIONALES Y COSTO DE SISTEMAS.....	50
3.5.1 FASES MODELO ESTIMACIÓN DE VIDA ÚTIL DE EQUIPO MECÁNICO	50
3.6. PROPUESTA METODOLÓGICA ESTIMACIÓN VIDA ÚTIL DE SISTEMAS POR FACTORES TECNICOS, OPERACIONALES Y PESO DE COMPONENTES	56
3.6.1 FASES MODELO ESTIMACIÓN DE VIDA ÚTIL DE SISTEMAS DE EQUIPO MECÁNICO.....	56
3.7. PROPUESTA METODOLÓGICA ESTIMACIÓN VIDA ÚTIL DE EQUIPO MECÁNICO POR FACTORES TÉCNICOS, OPERACIONALES Y PESO DE LOS SISTEMAS.....	62
3.7.1 FASES MODELO ESTIMACIÓN DE VIDA ÚTIL DE EQUIPO MECÁNICO	62

CAPTITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 69

4.1. RESULTADOS PROPUESTAS METODOLÓGICAS ESTIMACIÓN DE VIDA ÚTIL COMPONENTES, SISTEMAS Y EQUIPO MECÁNICO	69
4.1.1. RESUMEN, CRITERIOS Y METODOLOGÍA PARA ESTIMACIÓN VIDA ÚTIL DE COMPONENTES, SISTEMAS Y EQUIPO MECÁNICO	70
4.2. RESULTADO FICHA OPERATIVA ESTIMACIÓN DE VIDA ÚTIL DE COMPONENTES DE EQUIPO MECÁNICO.....	74

4.3. RESULTADOS FICHA OPERATIVA ESTIMACIÓN DE VIDA ÚTIL DE SISTEMAS POR COSTO PARA EQUIPO MECÁNICO	77
4.4. RESULTADOS FICHA OPERATIVA ESTIMACIÓN DE VIDA ÚTIL DE EQUIPO MECÁNICO POR COSTO DE SISTEMAS	80
4.5. RESULTADOS FICHA OPERATIVA ESTIMACIÓN DE VIDA ÚTIL DE SISTEMAS POR PESO DE COMPONENTES	83
4.6. RESULTADOS FICHA OPERATIVA ESTIMACIÓN DE VIDA ÚTIL DE EQUIPO MECÁNICO POR PESO DE LOS SISTEMAS	86
4.7 CÁLCULO DE NIVEL CONFIANZA PARA PROPUESTA METODOLÓGICA	89
CONCLUSIONES	90
RECOMENDACIONES	91
<u>BIBLIOGRAFÍA</u>	<u>92</u>
<u>ANEXOS</u>	<u>95</u>
ANEXO 1: OBTENCIÓN DE INDICADORES, INDICES PARA LOS FACTORES TÉCNICOS Y OPERACIONALES	
ANEXO 2: MATRIZ DE CONSISTENCIA	
ANEXO 3: PESO DE LOS COMPONENTES Y SISTEMAS DE EQUIPO MECÁNICO POR PROCESO JERÁRQUICO ANALÍTICO	
ANEXO 4: SELECCIÓN DE FACTORES TÉCNICOS Y OPERACIONALES	

INDICE TABLAS

Tabla 1: Formato Estimación Vida Útil de Componentes por Factores Técnicos y Operacionales de Equipo Mecánico	43
Tabla 2: Formato Estimación Vida Útil de Sistemas por Factores Técnicos, Operacionales y Costo de Componentes	49
Tabla 3: Formato Estimación Vida Útil Equipo Mecánico por Factores Técnicos, Operacionales y Costo de Sistemas	55
Tabla 4: Formato Estimación Vida Útil de Sistemas por Factores Técnicos, Operacionales y Peso de Componentes	61
Tabla 5: Formato Estimación Vida Útil Equipo Mecánico por Factores Técnicos, Operacionales y Peso de Sistemas	68
Tabla 6: Ficha Operativa VUE de Componentes por Factores Técnicos y Operacionales de Equipo Mecánico	75
Tabla 7: Ejemplo Ficha Técnica VUE de Componentes por Factores Técnicos, Operacionales y Costo de Componentes	78
Tabla 8: Ficha Operativa VUE para Sistemas por Factores Técnicos, Operacionales de Costo de Componentes	79
Tabla 9: Ejemplo Ficha Técnica VUE para Sistemas por Factores Técnicos, Operacionales y Costo de Componentes	79
Tabla 10: Ficha Operativa VUE para Equipo Mecánico por Factores Técnicos, Operacionales y Costo de Sistemas	82
Tabla 11: Ejemplo Ficha Técnica VUE para Equipo Mecánico por Factores Técnicos, Operacionales y Costo de Sistemas	84
Tabla 12: Ficha Operativa VUE para Sistemas por Factores Técnicos, Operacionales y Peso de Componentes	87
Tabla 13: Ejemplo Ficha Técnica VUE para Sistemas por Factores Técnicos, Operacionales y Pesos de Componentes	87
Tabla 14: Ficha Operativa VUE para Equipo Mecánico por Factores Técnicos, Operacionales y Pesos de los Sistemas	87
Tabla 15: Ejemplo Ficha Técnica VUE para Equipo Mecánico por Factores Técnicos, Operacionales y Pesos de los Sistemas	87
Tabla 16: Nivel de Confianza del Pronóstico Estimación de Vida Útil Componentes, Sistemas y Equipo Mecánico por Factores Técnicos y Operacionales	89

INDICE CUADROS

Cuadro 1: Ejemplo Taxonomía Ubicación y Subdivisión de Activos Físicos	16
Cuadro 2: Taxonomía Electrobomba; Equipo Mecánico, Sistemas y Componentes	18
Cuadro 3: Taxonomía Tracto Camión; Equipo Mecánico, Sistemas y Componentes	21
Cuadro 4: Taxonomía Central Térmica a Vapor Generadora de Electricidad; Equipo Mecánico, Sistemas, Componentes.....	22
Cuadro 5: Fases Análisis VUE de Componentes por Factores Técnicos y Operacionales para Equipo Mecánico	70
Cuadro 6: Fases Análisis VUE de Sistemas por Factores Técnicos, Operacionales y Costo de Componentes de Equipo Mecánico.....	71
Cuadro 7: Fases Análisis VUE Equipo Mecánico por Factores Técnicos, Operacionales y Costo de los Sistemas.....	72
Cuadro 8: Fases del Análisis VUE de Sistemas por Factores Técnicos, Operacionales y Peso de los Componentes del Equipo Mecánico	73
Cuadro 9: Fases del Análisis VUE de Equipo Mecánico por Factores Técnicos, Operacionales y Peso de los Sistemas del Equipo Mecánico	74

INDICE FIGURAS

Figura 1: Los Activos de la Organización Empresarial.....	8
Figura 2: Relación de los Costos durante Ciclo de Vida de los Activos Fisicos (LCC)	9
Figura 3: Mapa Estratégico de Gestión de Activos	10
Figura 4: Fases del Ciclo de Vida de un Activo	11
Figura 5: Nivel de Taxonomía Activos Físicos Norma ISO 14224	13
Figura 6: Taxonomía Subdivisión Equipo Mecánico Cuatro Niveles Adaptado	14
Figura 7: Taxonomía Subdivisión Equipo Mecánico Cinco Niveles Adaptado.....	14
Figura 8: Taxonomía Electrobomba; Equipo Mecánico, Sistemas y Componentes	18
Figura 9: Taxonomía Tracto Camión; Equipo Mecánico, Sistemas y Componentes.....	20
Figura 10: Taxonomía Central Térmica a Vapor; Equipo Mecánico, Sistemas y Componentes.....	23
Figura 11: Clasificación Métodos de Predicción VUE para Equipos de Trabajo	30
Figura 12: Estadística de Paper Publicados Predicción VUE en Mantenimiento Basado en la Condición.	31
Figura 13: Taxonomía Enfoques Basados en Datos Estadísticos para Estimación de Vida Útil (VUE).	32
Figura 14: Factores de Influencia en la Vida Útil Restante Adaptado	37
Figura 15: Taxonomía Equipo Mecánico Tres Niveles para Estimación Vida Útil.....	39
Figura 16: Taxonomía Equipos Mecánico Cuatro Niveles para Estimación Vida Útil.....	39
Figura 17: Taxonomía Equipo Mecánico Tres Niveles para Estimación Vida Útil.....	45
Figura 18: Taxonomía Equipo Mecánico Cuatro Niveles para Estimación Vida Útil	45
Figura 19: Taxonomía Equipo Mecánico Tres Niveles para Estimación Vida Útil.....	51
Figura 20: Taxonomía Equipo Mecánico Cuatro Niveles para Estimación Vida Útil	51
Figura 21: Taxonomía Equipo Mecánico Tres Niveles para Estimación Vida Útil.....	57
Figura 22: Taxonomía Equipo Mecánico Cuatro Niveles para Estimación de U´til.....	57
Figura 23: Taxonomía Equipo Mecánico Tres Niveles para Estimación de Vida Útil	63
Figura 24: Taxonomía Equipo Mecánico Cuatro Niveles para Estimación de Vida Útil ...	63

RESUMEN

Las empresas para la producción de bienes y servicios se sirven de activos humanos, activos financieros, activos intangibles y activos físicos, estos últimos son cada día son más complejos, automatizados, productivos y evolucionan con suma rapidez a tal punto que la obsolescencia tecnológica, obsolescencia económica o la degradación veloz los afecta demasiado rápido, donde su gestión a lo largo de su ciclo de vida útil es fundamental estimar su vida remanente, estas empresas actualmente están en constante cambio debido a la agresiva competitividad, y uno de los pilares de las organizaciones son los activos físicos, donde las variables de la estimación de vida útil, depreciación de activos, renovación de activos, implementación de estrategias de mantenimiento, baja de activos son estrategias de gestión empresarial.

En vista de la especialidad de ejercicio y una de la especialidades es la ingeniería de mantenimiento, dentro de sus funciones es el diagnóstico y pronóstico, las individualidades es saber cuánto de vida le queda para poder tomar decisiones en la gestión de los mismos.

Es visto pertinente proponer una metodología para estimar la vida útil de componentes, sistemas y equipos mecánicos basado en factores técnicos y operacionales con aproximación a la Norma ISO 15686 y de soporte en la jerarquización de activos físicos de la Norma ISO 14224. Esta investigación para estimación de vida útil se encontró con métodos específicos a través de modelos para componentes mecánicos desde determinísticos a los estocásticos, desde los más simples hasta lo más modernos como es la inteligencia artificial, diferenciado solo para componentes más no para sistemas o equipos mecánicos.

La propuesta metodológica de estimación de vida útil por métodos de los factores técnicos y operacionales con aproximación a la Norma ISO 15686 para componentes, sistemas y equipos mecánicos es un método confiable al sesenta y dos por ciento, práctico y económico y depende en gran medida del especialista evaluador. Esta metodología propuesta su valor de interés aumentará, si se perfecciona el nivel de confianza en el diagnóstico de los factores técnicos y operacionales.

Palabras Claves: Estimación de vida útil, factores técnicos, factores operacionales, degradación, metodología de estimación.

ABSTRACT

Companies for the production of goods and services use human assets, financial assets, intangible assets and physical assets, the latter are increasingly complex, automated, productive and evolve very rapidly to the point that technology obsolescence, obsolescence economic or rapid degradation affects them too quickly, where their management throughout their life cycle is essential to estimate their remaining life, these companies are currently constantly changing due to aggressive competitiveness, and one of the pillars of organizations they are physical assets, where the variables of the estimation of useful life, depreciation of assets, renewal of assets, implementation of maintenance strategies, derecognition of assets are business management strategies.

In view of the specialty of exercise and one of the specialties is the maintenance engineering, within its functions is the diagnosis and prognosis, the individualities is knowing how much of life you have left to be able to make decisions in the management of them.

It is considered pertinent to propose a methodology to estimate the useful life of components, systems and mechanical equipment based on technical and operational factors with an approximation to ISO 15686 and support in the hierarchy of physical assets of ISO 14224. This research is for estimation. of useful life was found with specific methods through models for mechanical components from deterministic to stochastic, from the simplest to the most modern such as artificial intelligence, differentiated only for components but not for systems or mechanical equipment.

The methodological proposal of estimation of useful life by methods of the technical and operational factors with approximation to the technical standard ISO 15686 for components, systems and mechanical equipment is a reliable method at sixty-two percent, practical and economical and depends largely of the evaluating specialist. This proposed methodology will increase its interest value, if the level of confidence in the diagnosis of technical and operational factors is improved.

Keywords: Estimated useful life, technical factors, operational factors, degradation, estimation methodology.

CAPITULO I INTRODUCCIÓN

El concepto de estimación vida útil de un activo físico es pronosticar cuánto tiempo queda antes de que ocurra una falla en la condición actual del perfil de operación, o la vida que le resta desde el momento actual hasta el momento que falla.

La predicción de estimación de vida útil también se denomina vida útil remanente, vida útil restante, donde se debe verificar una evaluación de análisis de ciclo de su vida, con el objetivo de predecir su durabilidad y toma de decisiones en la planificación de su vida útil, desarrollo de una reingeniería, planificación de estrategias de mantenimiento, minimizar los eventos de fallas catastróficas, reemplazo de los activos físicos de acuerdo a una evaluación del costo de ciclo de vida.

Esta investigación de carácter propositiva proporciona un nuevo conocimiento de solución de estimación de vida útil con aproximación a la Norma ISO 15686 para componentes, sistemas y equipos mecánicos; empezamos con la elección de los factores técnicos y operacionales correspondientes para predecir la vida útil como son; calidad de material, diseño de equipos, nivel de mantenimiento, tecnología y obsolescencia, obsolescencia comercial, apariencias física y estado, condiciones ambientales, condiciones de operación y obsolescencia, obsolescencia económica, condiciones de uso, estado de desempeño luego seleccionamos los más relevantes en la degradación y durabilidad y siguiente planteamos los principios de formulación para valorar los factores designados.

En este contexto se formula una metodología de estimación de la vida útil que implica modificar su vida útil de referencia, que es la vida útil prevista de un componente, sistema o equipo mecánico en condiciones conocidas, utilizando una serie de factores técnicos y operación; esta investigación científica tecnológica se realiza de acuerdo a las herramientas tecnológicas y científicas existentes, bibliografía especializada, normas internacionales, entrevistas a especialistas.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La estimación de la vida útil actual de componentes, sistemas y equipos mecánicos, existen diferentes métodos y modelos que siguen en debate y evaluación que se basan

en una evaluación de tres enfoques principistas; por costo, precisión, aplicabilidad. Estos pronósticos basados en modelos, pronósticos basados en datos y pronósticos basados en conocimientos en correspondencia científica-tecnológico, donde existen diferentes métodos predicción de vida útil publicados y los usuarios tienen dificultades para calificar su confianza técnica, donde no se tiene algo específico, concreto, sencillo y normalizado.

La durabilidad de los equipos en las diferentes industrias es una de las cuestiones más importantes a tener en cuenta en materia de inspección y mantenimiento; al mismo tiempo la degradación está directamente relacionada con la búsqueda de un desarrollo sostenible y responsabilidad compartida temas de plena actualidad y en el que se están invirtiendo muchos esfuerzos.

Los fabricantes de activos físicos para las industrias eficientes y productivas; la durabilidad y vida útil es muy importante para la producción con calidad, donde se vienen desarrollando y fabricando componentes y sistemas más duraderos y fiables por medio de pruebas técnicas y simulación en los laboratorios de modo que prueban su vida útil, son conscientes de esta problemática y buscan métodos para evaluar el riesgo prematuro de deterioro de sus productos debido a unas condiciones operación y ambientales diferentes.

A la fecha, los métodos propuestos para la predicción de la vida útil no se pueden considerar una ciencia exacta debido a los múltiples factores diferentes que hay que considerar, lo que hace de la predicción de la vida útil una actividad interdisciplinaria.

Los últimos años ha habido un interés creciente en determinar la estimación de vida útil de activos físicos para equipos mecánicos, equipos eléctricos, equipos electrónicos o equipos mecatrónicas, así como estructuras metal mecánicas, instalaciones, y demás áreas de una empresa de producción de bienes y servicios. Esto se basa en tres aspectos:

ASPECTOS ECONÓMICOS

- Los costos de capital y de operación del ciclo de vida de activos donde están los de desarrollo y inversión; costos de operación, de mantenimiento planificado y correctivo, impacto en la producción y medio ambiente, los de desincorporación son de gran importancia en la competitividad de una industria y por consecuente en la economía de un país.

ASPECTOS TÉCNICOS

- La degradación de los componentes, sistemas y equipos mecánicos con el uso en la producción trae por consecuencia una disminución gradual de la eficiencia, disponibilidad, confiabilidad.
- La durabilidad de los componentes, sistemas y equipos mecánicos está en función respecto al nivel de mantenimiento aplicado, condiciones de operación, condiciones del entorno de trabajo.

ASPECTOS MEDIO AMBIENTALES

- La escasez de recursos materiales, energéticos en la producción y operación de equipos.
- Impacto medioambiental causado por las máquinas, equipos en la operación de producción de bienes y servicios.
- La industria mecánica es un gran consumidor de recursos energéticos, la finalidad de estimar la vida útil de un activo o algunos de sus componentes críticos sea al menos igual que la vida útil de su diseño, conocer la vida útil con antelación el siguiente paso es obtener una predicción de vida útil lo más fiable usando los datos de los que disponemos actualmente. Lo que se busca obtener es la planificación de la vida útil de los diferentes componentes, sistemas y equipos mecánicos y de ahí realizar una planificación y programación de mantenimiento incluyendo las carencias reposiciones necesarias.

1.2. ENUNCIADO DEL PROBLEMA

Metodología para estimar la vida útil de componentes, sistemas y equipos mecánicos basado en factores técnicos y operacionales con aproximación a la Norma ISO-15686.

1.3. HIPÓTESIS GENERAL

H_G: Dado, que los activos físicos en su producción de bienes y servicios están en función de un contexto operacional y funciones primarias y secundarias; si podemos evaluar y seleccionar los factores técnicos y operacionales de degradación entonces formularemos una metodología de estimación de vida útil.

1.3.1. Hipótesis Específicas

GESTIÓN-TECNOLOGÍA

H1: Un estudio a fondo de los factores de degradación de los activos físicos, (equipos, sistemas y componentes) dará a saber los factores importantes que intervienen en el deterioro en el transcurso del tiempo.

H2: Dado, que los activos físicos, su operatividad está de acuerdo a un contexto operacional y funciones; si podemos plantear los factores técnicos y operacionales de degradación entonces procederemos analizarlos y seleccionarlos.

GESTIÓN-MANTENIMIENTO

H3: Dado, que los activos físicos en su funcionamiento operativo de acuerdo a un contexto operacional y funciones; si formulamos una metodología de estimación de vida útil entonces lograremos planificar una estrategia de gestión de mantenimiento a los mismos.

GESTIÓN-SOSTENIBILIDAD

H4: Dado, que los activos físicos en su funcionamiento operativo de acuerdo a un contexto operacional y funciones; si formulamos una metodología de estimación de vida útil entonces podremos realizar una adecuada gestión estratégica del ciclo de vida de los mismos.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo General

Desarrollar una metodología para estimar la vida útil de componentes, sistemas y equipos mecánicos basado en factores técnicos y operacionales con aproximación a la Norma ISO-15686.

1.4.2. Objetivos Específicos

1. Plantear y evaluar los factores técnicos y operacionales de degradación y durabilidad en la vida útil remanente de los componentes, sistemas y equipos mecánicos.
2. Seleccionar los factores técnicos y operacionales más relevantes en la degradación y durabilidad en la vida útil remanente de los componentes, sistemas y equipos mecánicos.

3. Plantear una metodología por factores técnicos y operacionales con aproximación a la Norma ISO 15686 para evaluar la vida útil remanente de los componentes, sistemas y equipos mecánicos.
4. Plantear el modelo de evaluación cuantitativo o cualitativo de los factores técnicos y operacionales para sustituir en la fórmula de la propuesta metodológica de estimación de vida útil de los componentes mecánicos, sistemas y equipos mecánicos.
5. Desarrollar una aplicación a partir del modelo propuesto que permita justificar la viabilidad del método planteado.

1.5. JUSTIFICACIÓN TÉCNICA

- En el ciclo de vida útil de un activo físico es de vital importancia evaluar periódicamente su vida útil remanente con el objetivo de saber cuánto le queda de vida útil.
- Es de vital importancia evaluar constantemente su vida útil restante de un activo físico con la finalidad de poder efectuar mejoras en las estrategias del plan mantenimiento acorde a las necesidades de su operatividad, disponibilidad y confiabilidad.
- El proceso de ciclo de vida útil de un activo físico es de vital interés calcular su vida útil que le queda con la intención de pronosticar la detección temprana de la condición de modo de fallo.
- En el ciclo de vida útil de un activo físico es de vital trascendencia determinar periódicamente su vida útil remanente con el objetivo de poder determinar la necesidad de realizar una reingeniería debido a su obsolescencia tecnológica.
- Estimar la vida útil de equipo mecánico es de vital importancia evaluar anualmente con el objetivo de poder determinar la necesidad de realizar una reingeniería debido a su obsolescencia económica respecto a la rentabilidad beneficio-costos.

1.6. JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA

- Evaluar periódicamente la vida útil restante de un activo físico con la finalidad de poder de efectuar mejoras en las estrategias del plan mantenimiento y conocer el costo presupuestado.

- El ciclo de vida útil de un activo físico se divide en costo de capital y de operación, la estimación de vida útil permitirá evaluar periódicamente los costos de mantenimiento y los costos de riesgo.
- Un equipo mecánico operativo productivo tiene que ser evaluado periódicamente su vida útil restante con el objetivo de valorizarlo por medio de la depreciación.

1.7. ALCANCES Y LIMITES

- El estudio de investigación para estimación de vida útil se realizará a activos físicos que corresponden a equipos, sistemas y componentes mecánicos según la jerarquización dada por normas técnicas internacionales.
- Se plantea proponer una metodología para estimación de vida útil por medio de afectación de factores técnicos y operacionales
- Esta metodología debe tener un nivel de confianza mínimo del cincuenta por ciento.
- La cuantificación de cada uno de los factores técnicos y operacionales seleccionados no se obtendrán por pronósticos por medio de conocimiento como son inteligencia artificial, lógica difusa o sistemas expertos.
- El método de investigación que se propondrá solo se limitará a equipos mecánicos mas no equipos eléctricos o electrónicos.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. INTRODUCCIÓN

Los diferentes tipos de industrias altamente mecanizadas y automatizadas deben satisfacer a sus clientes demandando que sus activos físicos hagan lo que sus usuarios quieren de ellos desde el momento en que son puestos en servicio y a lo largo de ciclo de vida; debemos denotar que es necesario que exista la relación directa entre el plan estratégico de su organización y el sistema de mantenimiento de los activos físicos. En la gestión de administración del ciclo de vida de los activos físicos se debe tener en cuenta los siguientes aspectos: aspectos de costo de ciclo de vida que comprende en costos de capital en la inversión (Capex) que son investigación, diseño, compras y construcción; los costos operacionales (Opex) que son costos de operación, costos de mantenimiento planificado, costos por baja fiabilidad donde se incluye mantenimiento correctivo, impacto en la producción e impacto ambiental; aspecto de jerarquización como es tipo de industria, categoría de negocio, clase de equipo; ubicación técnica; aspectos de desempeño tales como rendimiento, disponibilidad, fiabilidad, mantenibilidad y aspectos técnicos histórico de modos de fallos, fallos funcionales actuales.

2.2. DEFINICIÓN DE GESTIÓN DE ACTIVOS

El concepto de gestión de activos o, en inglés Asset Management se origina a partir de la década de 1990 mediante un enfoque interdisciplinario con el fin de proteger las grandes inversiones, tanto privadas como públicas. Los conceptos emergen con un fuerte énfasis en el estudio del valor económico del activo desde la perspectiva de su ciclo, ofrece nuevas posibilidades frente a los análisis tradicionales de costes, aislados por fases o periodos temporales por los transcurre el activo en la empresa.

Mitchel et ál. (2006) definen la gestión de activos como un programa estratégico amplio, completamente integrado y dirigido a conseguir de forma segura y sostenible la mayor duración, utilización, productividad, eficacia, valor, rentabilidad y retorno (ROA) de activos físicos de fabricación, producción, operación e infraestructuras.

Amendola L., (2010) define la gestión integral de activos y la visualiza como un sistema de control en que todo debe controlarse y optimizarse cuidadosamente. Es la gestión o gerencia de los activos tangibles e intangibles, con enfoque hacia un planteamiento integrado para operar, mantener, mejorar y adaptar las plantas e infraestructuras de una organización con el fin de crear un entorno que soporte firmemente los objetivos primarios de la empresa. La correcta aplicación de las técnicas de gerencia de activos, permitirá a las empresas proporcionar el adecuado entorno para dirigir su núcleo de negocio sobre la base de una eficacia de costes y una buena relación calidad-precio. Así como otras áreas funcionales en el control de procesos, la gestión del mantenimiento de activos tiene un impacto directo de la ejecución.

En una organización gestiona de manera óptima sus activos físicos a través de su ciclo de vida con el fin de lograr el plan estratégico de la organización a través de los objetivos que se centran en:

- Extensión de la vida de servicio
- Eficiencia de costes
- Durabilidad y calidad
- Disponibilidad
- Confiabilidad
- Seguridad
- Seguridad del medio ambiente

Los activos en general se clasifican como: activos físicos, activos humanos, activos de información y tecnología, activos financieros y los activos intangibles. Como se muestra en la Figura 1.

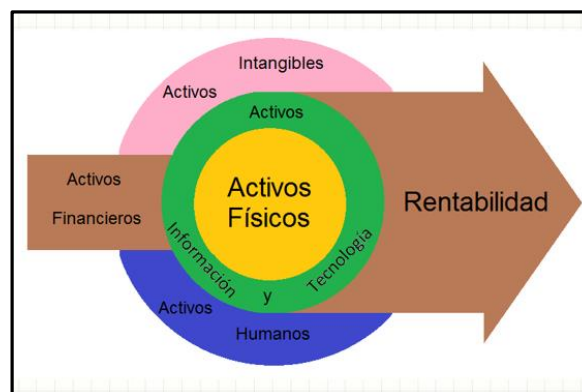


Figura 1: Los Activos de la Organización Empresarial

Fuente: (Morales, 2014)

En la Figura 2 se muestra el costo de ciclo de vida de los activos físicos que se dividen en costos de capital y costos de operación, desde el proyecto hasta la desincorporación.

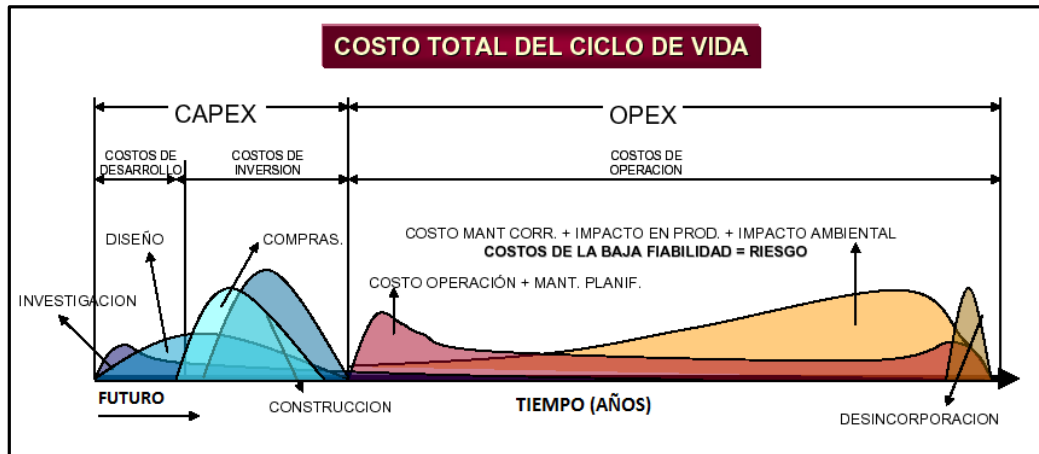


Figura 2: Relación de los Costos durante Ciclo de Vida de los Activos Físicos (LCC)
Fuente: (Villagra, 2015)

2.3. CODIGOS O NORMAS TÉCNICAS DE GESTIÓN DE ACTIVOS

Las normas cobran importancia estratégica para las empresas cuando presentan una oportunidad para mejorar su competitividad ante las cada vez mayores exigencias internacionales, las industrias que hacen uso intensivo de sus activos físicos, para mantenerse competitivas, deben gestionar dichos activos de manera eficiente. Las Normas internacionales ISO cualquier organización puede utilizarlas tal como la ISON 550001: 2014 donde especifica los requisitos para establecer, implementar, mantener y mejorar el llamado Sistema de Gestión de Activos.

2.3.1. Gestión de Activos: Modelo de la Especificaciones PAS 55-2008

La Guía PAS 55: 2008 BRITISH STANDARDS INSTITUTION (BSI) como referencia fundamental del Asset Management o Gestión de Activos, define a la gestión de activos como todas aquellas actividades y practicas sistemáticas y coordinadas a través de las cuales una organización gerencia de manera óptima sus activos físicos y el comportamiento de los equipos, riesgos y gastos durante su ciclo de vida útil con el propósito de alcanzar su plan estratégico organizacional, lo que indica que se traduce en conseguir la mejor manera de gestionar los activos para alcanzar un resultado deseado y sustentable. Ante este escenario y ante diversas

técnicas y herramientas, hay que dar respuesta a las preguntas que ayuden a la empresa a cumplir con los 28 requerimientos especificados por la PAS 55.

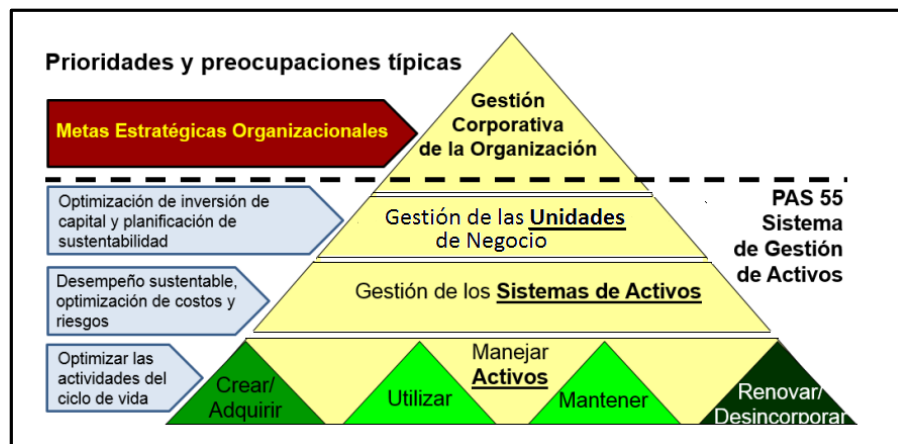


Figura 3: Mapa Estratégico de Gestión de Activos
Fuente: (PAS 55, 2008)

2.3.2. Gestión de Activos: Normas Técnicas UNE - ISO 55000, 55001; 550002: 2014

Norma UNE-ISO 55000: 2014

Esta Norma Internacional provee los aspectos generales de la gestión de activos, sus principios y terminología y los beneficios esperados de estos.

La gestión de activos se basa en un conjunto de fundamentos los cuales se describen a continuación:

- a. **Valor:** Los activos existen para proveer valor a la organización y a sus partes interesadas. La gestión de activos no se enfoca en el activo en sí mismo, sino en el valor que este puede proveer a la organización. Este valor será determinado, de acuerdo a los objetivos organizacionales, por la organización y sus partes interesadas.
- b. **Alineación:** La gestión de activos traduce los objetivos organizacionales en decisiones, planes y actividades técnicas y financieras. Las decisiones de gestión de activos permiten colectivamente el logro de los objetivos organizacionales.
- c. **Liderazgo:** El liderazgo y la cultura de trabajo son determinantes para la obtención de valor. El liderazgo y compromiso de todos los niveles gerenciales es esencial para establecer, operar y mejorar exitosamente la gestión de activos en la organización.

d. Aseguramiento: Asegura que los activos cumplirán con su propósito. Surge de la necesidad de gobernar eficazmente una organización. Actividades coordinadas de una organización para realizar el valor de sus activos. La realización del valor involucra un balance entre el costo, riesgo y la oportunidad del beneficio. El término actividad tiene un sentido amplio e incluye la estrategia, planificación y ejecución. (ISO 55000, 2014).

2.3.3. Norma UNE-ISO 55001:2014

Especifica los requisitos para establecer un sistema de gestión de activos.

Define los requerimientos para el establecimiento, implementación, mantenimiento y mejora de un sistema de gestión de activos.

Esta norma internacional específica los requisitos que debe cumplir la organización para cumplir con los objetivos del sistema de gestión de activos, la norma es muy clara al establecer que el orden de los requisitos no refleja su importancia ni el orden de implementación. Además, cualquier organización puede diseñar e implementar esta norma y determinar a qué activos se aplica.

UNE- ISO 55002:2014, Proporciona una guía para la aplicación de la Norma UNE-ISO 55001.



Figura 4: Fases del Ciclo de Vida de un Activo
Fuente: (Sola & Crespo, 2006)

2.4. TAXONOMÍA DE LOS ACTIVOS FÍSICOS

Las empresas tienen, o al menos usan, cientos y hasta miles de activos físicos, estos activos van desde pequeñas bombas hasta plantas laminadoras de acero, portaaviones o edificios de oficinas. Pueden estar concentrados en un lugar pequeño o dispersos en miles de kilómetros cuadrados, algunos de estos activos serán móviles y otros estarán fijos.

La taxonomía de activos, según la norma ISO 14224 es la clasificación sistemática de las partes, componentes, dispositivos, subsistemas, unidades funcionales, activos o sistemas en grupos genéricos basados en factores comunes, juega un papel primordial dentro de la gestión de activos, considerando que permite saber a cualquier nivel de la empresa qué activos se tienen, dónde y cómo están, permitiendo obtener beneficios al momento de inversión de dinero, determinación de la vida útil y mejoras en la planificación de los recursos. La taxonomía permite optimizar la inversión, los gastos operativos y de ciclo de vida, y reducir el costo de las pólizas no serán analizados, o aquellos tan complejos que se analizarán por separado. Los límites del sistema Moubray (1997) cuando se aplica el RCM a cualquier activo o sistema, es importante definir claramente donde comienza o termina el sistema, que se va analizar. Si se ha diseñado una jerarquía comprensiva del activo y tomado la decisión de analizarlo en un nivel especificado, entonces el sistema incluye generalmente en forma automática todos activos que se encuentran por debajo de ese sistema en la jerarquía del activo. (UNE- ISO 55002, 2014).

2.4.1. Definición de Taxonomía o Árbol de Equipos

La Real Academia Española, define la palabra **Taxonomía**: Ciencia que trata de los principios, métodos y fines de la clasificación. Se aplica en particular, para la ordenación jerarquizada y sistemática de los activos y sistemas de activos físicos con sus nombres, los grupos de equipos y de partes.

Identificar y registrar sistemáticamente los activos de los cuales una empresa es responsable o que posee, es la piedra angular para resolver los cuestionamientos más críticos a la hora de resolver problemas y tomar decisiones. (Novillo, 2013).

Entre las metodologías para la jerarquización de activos físicos que se postularon entre 1970 al 2017, destaca la Taxonomía descrita en la norma ISO-14224:2016, por ser actualmente la técnica utilizada para la clasificación de las instalaciones en

niveles taxonómicos relacionados con el uso, localización y subdivisión de equipos. (ISO 14224, 2016).

2.5. NORMA ISO 14224

Norma ISO (La Organización Internacional para la Estandarización) 14224: 2016 Industrias de Petróleo, Petroquímica y Gas Natural -Recolección e Intercambio de Datos de Confiabilidad y Mantenimiento de Equipos.

La Taxonomía ISO 14224 es una clasificación sistemática de ítems en grupos genéricos basados en factores posiblemente comunes a varios ítems (ubicación, uso, subdivisión de equipos, etc.) Una clasificación de datos relevantes a recolectar de conformidad con este Estándar Internacional está representada por una jerarquía como se muestra en la Figura 5. Las definiciones para cada segmento se proporcionan más abajo, además de los ejemplos de diferentes flujos del negocio y tipos de equipos, ilustrados en el Cuadro 1. (ISO 14224, 2016)

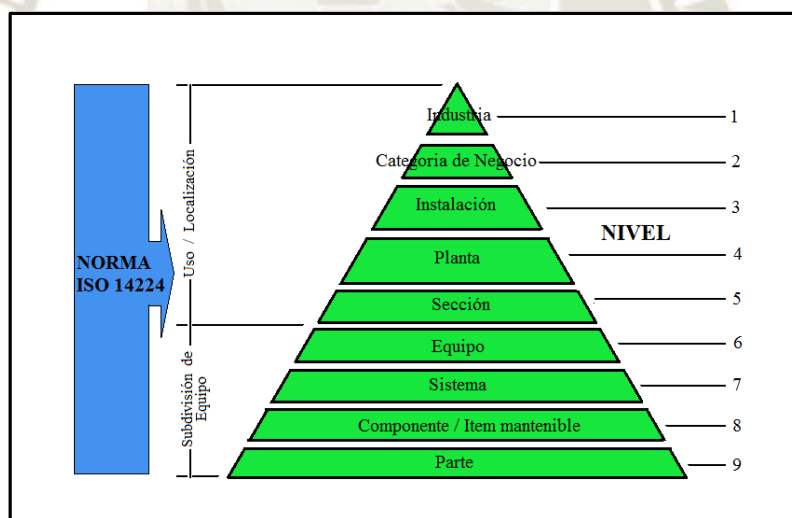


Figura 5: Nivel de Taxonomía Activos Físicos Norma ISO 14224
Fuente: (ISO 14224, 2016)

La Taxonomía ISO 14224 es hablar de clasificación sistemática de ítems en grupos genéricos, basándose en factores posiblemente comunes a varios elementos como ejemplo, a la ubicación, uso, equipo de subdivisión, entre otros. Comúnmente se les conoce como arboles de equipos ya que su característica jerarquizada desglosa cada una de las partes o componentes del equipo. Para el tema hemos adaptado la Norma ISO

14224 según sea el caso de estudio del equipo mecánico en cuatro o cinco niveles como lo ilustra la Figura 6,7.

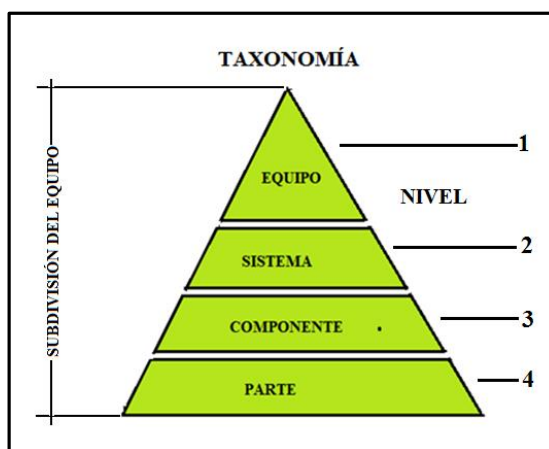


Figura 6: Taxonomía Subdivisión Equipo Mecánico Cuatro Niveles Adaptado. Fuente: (ISO 14224, 2016)

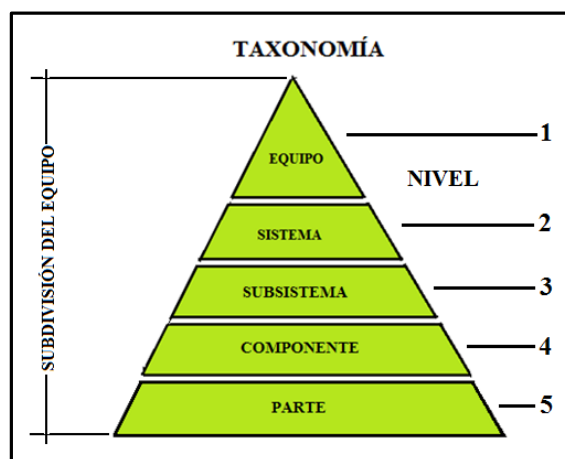


Figura 7: Taxonomía Subdivisión Equipo Mecánico Cinco Niveles Adaptado. Fuente: (ISO 14224,2016)

2.5.1. Definición de Equipo Mecánico

Un equipo mecánico es un conjunto de sistemas, componentes y partes móviles o fijos cuyo funcionamiento posibilita aprovechar, dirigir, regular o transformar energía o realizar una función de trabajo con un fin determinado.

2.5.2. Definición de Sistema

Grupo de elementos o componentes interdependientes que pueden ser identificados y tratados como conjunto. En un sistema se pueden identificar entradas, procesos y

salidas, entre los cuales se establecen relaciones de intercambio entre energía y materia.

Los sistemas mecánicos son aquellos sistemas constituidos fundamentalmente por subsistemas interdependientes que pueden ser identificados y tratados como un conjunto, cuya función específica transformar o transmitir el movimiento desde las fuentes que lo generan al transformar distintos tipos de energía.

2.5.3. Definición de Subsistema

Subconjunto de elementos de un sistema según el criterio que se clasifique o se pida que se haga la separación, constituidos fundamentalmente por componentes interdependientes que pueden ser identificados y tratados como un conjunto, cuya función específica transformar o transmitir el movimiento desde las fuentes que lo generan al transformar distintos tipos de energía.

2.5.4. Definición de Componente

Un componente mecánico es un elemento que compone o integra un sistema o subsistema, cada componente cumple una función específica dentro de un sistema, si falla, se tiene que sustituir o arreglar para que el sistema continúe funcionando.

El componente mecánico perteneciente a los equipos el cual es necesario de realizar acciones de mantenimiento con el objetivo de alcanzar la confiabilidad deseada, una falla crítica, incipiente o por degradación provoca una pérdida de la capacidad del sistema para que continúe operando dentro de las condiciones determinadas en el proceso.

2.5.5. Definición de Parte

Pieza de material metálica o no metálica que nos es eléctrica, electrónica, electromecánica y que cumple una función simple o parte de una función, de forma que puede ser considerada como un todo en relación con los requisitos de sus servicios y que no puede desmontarse sin destruir su capacidad.

2.6. DEFINICIÓN DE FACTORES TÉCNICOS

Los factores técnicos son elementos que permiten la degradación funcional de los activos físicos, y están relacionados de acuerdo al comportamiento de su salud técnica con el transcurrir del tiempo realizando sus funciones para la cual fue adquirido.

2.7. DEFINICIÓN DE FACTORES OPERACIONALES

Los factores operacionales son elementos que permiten la degradación funcional de los activos físicos, y están relacionados de acuerdo al comportamiento de su salud técnica con el transcurrir del tiempo realizando sus funciones para la cual fue adquirido. Y tiene que ver con las condiciones diseño de operación versus a las condiciones reales de operación.

Cuadro 1: Ejemplo Taxonomía Ubicación y Subdivisión de Activos Físicos

CATEGORIA PRINCIPAL	NIVEL TAXONÓMICO	JERARQUIA DE TAXONOMÍA	DEFINICIÓN	EJEMPLOS
DATOS DE USO/ UBICACIÓN	1	Industria	Tipo de industria principal	Petroleo, gas natural, petroquímica
	2	Categoría del Negocio	Tipo de negocio o flujo de procesos	Extracción, producción, refinería, petroquímica
	3	Categoría de Instalación	Tipo de instalación	Produccion, transportacion, perforacion de petroleo y gas, LNG, refineria, petroquímica
	4	Categoría de planta/Unidad	Tipó de planta/unidad	Plataforma, semi-sumergible, hidrocraqueo, craqueo de etileno, polietileno, planta de acido acetico, planta de metanol.
	5	Sección/Sistema	Sección/sistema principal de la planta	Compresión gas natural, licuación, gasoil de vacio, regeneración de metanol, sección de oxidación, sistema de reacción, sección de destilación, sistema de carga del tanque
SUBDIVISIÓN DE EQUIPOS	6	Clase de equipo/unidad	Clase de equipos similares. Cada clase de equipo contiene unidades de equipos comparables. (Ej. Compresores)	Intercambiadores de calor, compresores, tuberías, bombas, turbinas a gas, botes salvavidas, extrusoras.
	7	Sub-unidad	Subsistema necesario para que funcione el equipo	Sub-unidad de lubricacion, sub-unidad de enfriamiento, control y monitoreo, sub-unidad de calentamiento, sub-unidad de refrigeracion, sub-unidad de control de control distribuido.
	8	Componente/Item mantenible	El grupo de piezas del equipo que comunmente se mantienen (se reparan/se restauran) como un todo	Enfriador, acoplamiento, caja de engranaje, bomba de aceite de lubricacion, circuito de instrumento, motor, valvula, filtro, sensor de presion, sensor de temperatura, circuito electrico
	9	Parte	Una parte individual del equipo	Sello, tubo, caracasa, accionador, junta, placa de filtro,, perno, tuerca etc.

Fuente: Norma ISO 14224, 2006

2.8. CLASIFICACIÓN EQUIPOS MECÁNICOS Y APLICACIÓN

La Norma ISO 14224:2016 es una herramienta para registrar eventos y experiencias, con un principio de elaboración jerárquica del equipo dentro de una planta. Esta clasificación del equipo puede ser en concreto hace una división de los niveles de

análisis que podemos encontrarnos dentro de una instalación. Este punto es de especial relevancia a la hora de acometer un análisis de criticidad. En función del nivel en el que nos situemos dentro de la jerarquía propuesta por el análisis variará en duración, utilidad, documentación necesaria.

Existen varios niveles en los que puede aplicarse la metodología de criticidad. Para grandes complejos industriales. En la industria cervecera, existen secciones como el embotellado, el llenado, el etiquetado o el almacenaje. Un análisis de criticidad podría determinar el área de mayor influencia dentro de la planta. Siguiendo con el esquema de la industria cervecera, el análisis podría hacerse a nivel de sistema. En este caso, se entiende como sistema a los equipos principales dentro del proceso de fabricación, como pueden ser llenadoras, etiquetadoras, máquinas de lavado de botellas etc. Bajando al nivel se obtendría el listado de los sistemas o equipos principales más críticos con el objetivo de establecer sobre ellos las políticas de mantenimiento correspondientes. International Estándar ISO 14224, 2016.

2.9 APLICACIÓN NORMA ISO 14224 PARA UNA ELECTROBOMBA

Equipo Mecánico Electrobomba:

Definición: Una electrobomba es un equipo mecánico generadora que transforma la energía mecánica en accionar energía del fluido incompresible en ciertas condiciones de operación y de requerimiento del usuario. El fluido incompresible puede ser líquido o una mezcla de líquidos y sólidos, como lodos, pastas, pulpas etc.

Tipos: En la clasificación de las bombas hidráulicas y aplicaciones industriales son de dos tipos bombas cinemáticas y bombas desplazamiento positivo.

Función: Bombear fluidos hidráulicos de un punto a otro con un caudal y una presión determinada en ciertas condiciones de operación y ambientales.

La Figura 8 muestra la decomponetización del equipo mecánico Electrobomba en sistemas, componentes y partes

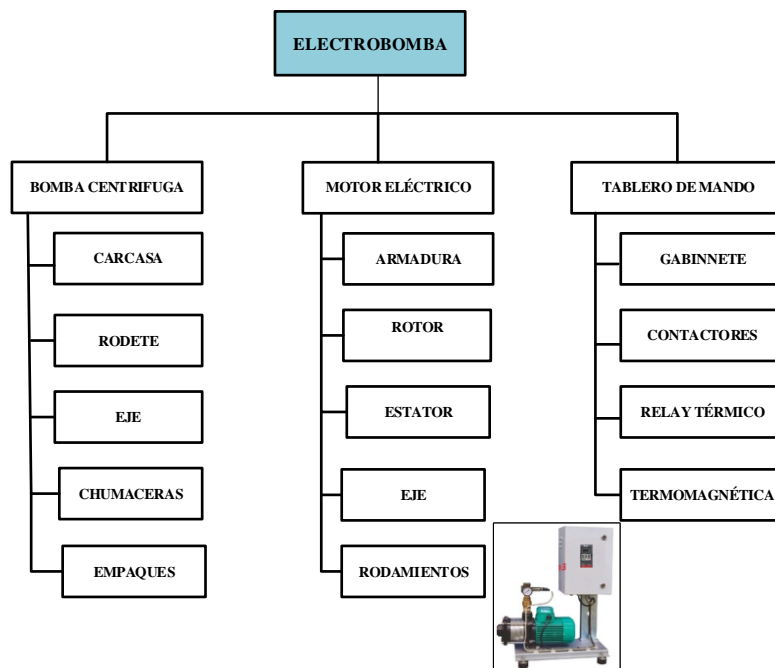


Figura 8: Taxonomía Electroboomba; Equipo Mecánico, Sistemas y Componentes. Fuente: Elaboración propia

El Cuadro 2 muestra la deconponetización del equipo mecánico Electroboomba en sistemas, componentes y partes.

Cuadro 2: Taxonomía Electroboomba; Equipo Mecánico, Sistemas y Componentes

EQUIPO	SISTEMAS	COMPONENTES	PARTES
ELECTROBOMBA	BOMBA CENTRIFUGA	CARCAZA	PERNOS
		RODETE	ARANDELAS
		EJE	TUERCAS
		CHUMACERAS	ORING
		SELLOS MECANICOS	PLATINAS
	MOTOR ELÉCTRICO	ARMADURA	TERMINALES
		ROTOR	TAPAS
		ESTATOR	RECTIFICADOR
		EJE	CAJA DE BORNES
		RODAMIENTOS	JUNTAS
	TABLERO ELÉCTRICO	GABINETE	BARRA COLECTORA
		CONTACTORES	RIEL METALICO
		RELAY TÉRMICO	CANALETA
		TERMOMAGNETICAS	TESTIGOS

Fuente: Elaboración propia

2.10. APLICACIÓN NORMA ISO 14224 PARA UN TRACTO CAMIÓN

Equipo Mecánico Tracto Camión:

Definición: Un Tractor Camión es una unidad de carga pesada, son de eje trasero sencillo o doble tipo tándem, se encuentra dentro de la categoría de grandes vehículos de mercancías, contando generalmente con un motor diésel; el camión tractor por su agilidad y practicidad lo han convertido en el vehículo ideal tanto para el mercado interno como para viajes internacionales.

Tipos: En la clasificación de los tractor camiones son de eje sencillo o doble tipo tándem es decir 4X2 ó 6X4.

Función: Transportar carga desde 20 a 40 Ton con una velocidad máxima de 80 Km por hora.

La Figura 9 y el Cuadro 3 muestra la decomponetización del equipo mecánico Tracto Camión en sistemas, componentes y partes



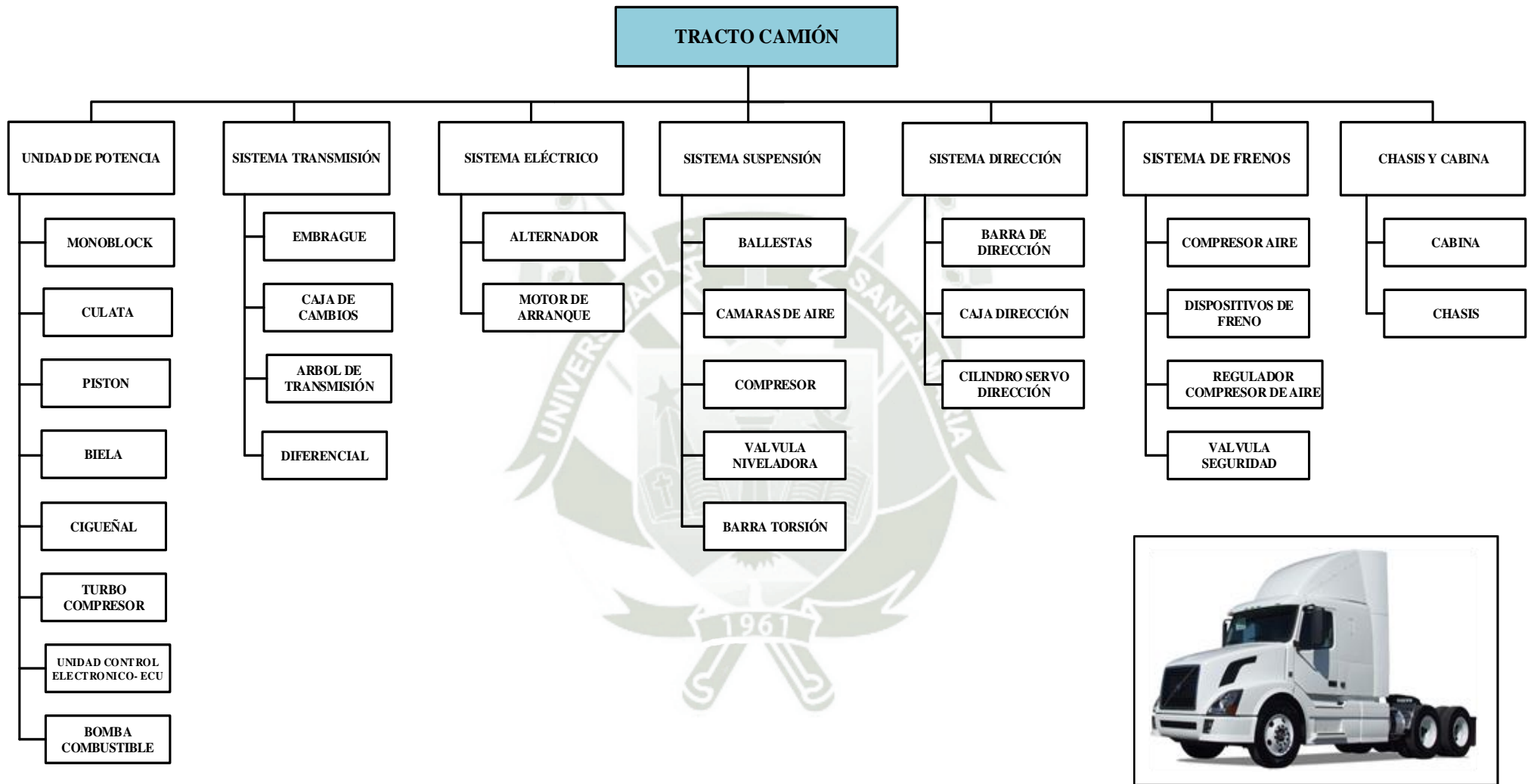


Figura 9: Taxonomía Tracto Camión; Equipo Mecánico, Sistemas y Componentes.
Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 3: Taxonomía Tracto Camión; Equipo Mecánico, Sistemas y Componentes.

EQUIPO MECÁNICO	SISTEMAS	COMPONENTES	PARTES
TRACTO CAMIÓN	UNIDAD DE POTENCIA	MONOBLOCK	CARTER
		CULATA	EMPAQUES
		PISTÓN	BRIDAS
		BIELA	METALES
		CIGÜEÑAL	TAPAS
		TURBO COMPRESOR	CAÑERIAS
		UNIDAD CONTROL ELECTRONICO	RADIADOR
		BOMBA E COMBUSTIBLE	VENTILADOR
	SISTEMA DE TRANSMISIÓN	EMBRAGUE	PLATOS
		CAJA DE CAMBIOS	EJE
		ARBOL DE TRANSMISIÓN	ENGRANAJES
		DIFERENCIAL	TAPAS
		PAILERS	EMPAQUES
	SISTEMA ELÉCTRICO	ALTERNADOR	EJE
		MOTOR DE ARRANQUE	CARCAZA
	SISTEMA DE SUSPENSIÓN	BALLESTAS	SOPORTES
		CAMARAS DE AIRE	CAÑERIAS
		COMPRESOR	CONEXIONES
		VALVULA NIVELADORA	RESORTES
		BARRA DE TORSIÓN	TANQUE DE AIRE
	SISTEMA DE DIRECCIÓN	BARRA DE DIRECCIÓN	EJE
		CAJA DE DIRECCIÓN	SELLOS
		CILINDRO SERVO DIRECCIÓN	CAÑERIAS
	SISTEMA DE FRENOS	COMPRESOR DE AIRE	VALVULAS
		DISPOSITIVOS DE FRENO	SOPORTES
		REGULADOR DE COMPRESOR DE AIRE	REGULADORES DE PRESIÓN
		VALVULA DE SEGURIDAD	RELES
	CABINA Y CHASIS	CABINA	SOPORTES
		CHASIS	PERFILES ESTRUCTURALES

Fuente: Elaboración propia

2.11. APLICACIÓN NORMA ISO 14224 PARA UNA CENTRAL TÉRMICA A VAPOR GENERADORA DE ELECTRICIDAD

Equipo Mecánico Central Térmica a Vapor Generadora de Electricidad:

Definición: En las centrales térmicas, la energía que posee el combustible fósil se transforma en energía calorífica en la caldera, mecánica en la turbina y eléctrica en el generador.

Tipos: se clasificación de las centrales térmicas de carbón, centrales térmicas de fuel-oíl, centrales térmicas a gas natural.

Función: Producir electricidad de acuerdo a su potencia instalada con un rendimiento de prestaciones que existen el mercado, frecuencia comercial.

Cuadro 4: Taxonomía Central Térmica a Vapor; Equipo Mecánico, Sistemas y Componentes.

EQUIPO	SISTEMAS	COMPONENTES	PARTES
CENTRAL TÉRMICA DE VAPOR	TANQUES DIARIO DE COMBUSTIBLE Y TRANSPORTE DE COMBUSTIBLE	TANQUES CILINDRICOS	VALVULAS
		SISTEMA DE TUBERIAS	MEDIDORES
		BOMBAS	BRIDAS
		MOTORES ELECTRICOS	INSTRUMENTACION
	CALDERO	TABLERO ELECTRICOS	TABLEROS
		DOMO	VENTILADOR
		QUEMADOR DE COMBUSTIBLE	CONDUCTOS
		CAMARA DE COMBUSTIÓN	VISORES
	TURBINA A VAPOR	TABLERO ELÉCTRICO	VALVULAS
		ALABES FIJOS Y MOVILES	MEDIDORES
		ROTOR	VALVULAS
		EJE	SELLOS
		TOBERAS	COJINETES
	ALTERNADOR DEL GRUPO	CARCAZA	PURGAS
		ROTOR	PUNTO NEUTRO
		ESTATOR	RODAMIENTOS
		EJE	ESCOBILLA
		EXCITRATIZ	BORNES
	SUBESTACIÓN DE TRANSFORMACIÓN DEL GENERADOR	COMPLEMENTARIOS	TOMA DE TIERRA
		NUCLEO	VALVULAS
		BOBINAS	BORNES
		TANQUE	RELES
	AUXILIARES DEL GRUPO GENERADOR	DEPOSITO DE EXPANSIÓN	TERMOMETROS
		AILADORES PASANTES	NIVEL DE ACEITE
		SISTEMAS DE FILTRADO DE COMBUSTIBLE	BOMBAS
		INTERCAMBIADORES DE CALOR	TANQUES
	EDIFICACIONES	SISTEMA DE FILTRADO	TABLEROS
		SISTEMA CONTRA INCENDIO	COMPRESORES
		EDIFICIO DE PLANTA	ALMACEN
		CUARTO DE CONTROL	PASADISOS
		SALA DE SERVICIOS AUXILIARES	CUARTOS
		MAESTRANZA	BAÑOS

Fuente: Elaboración propia

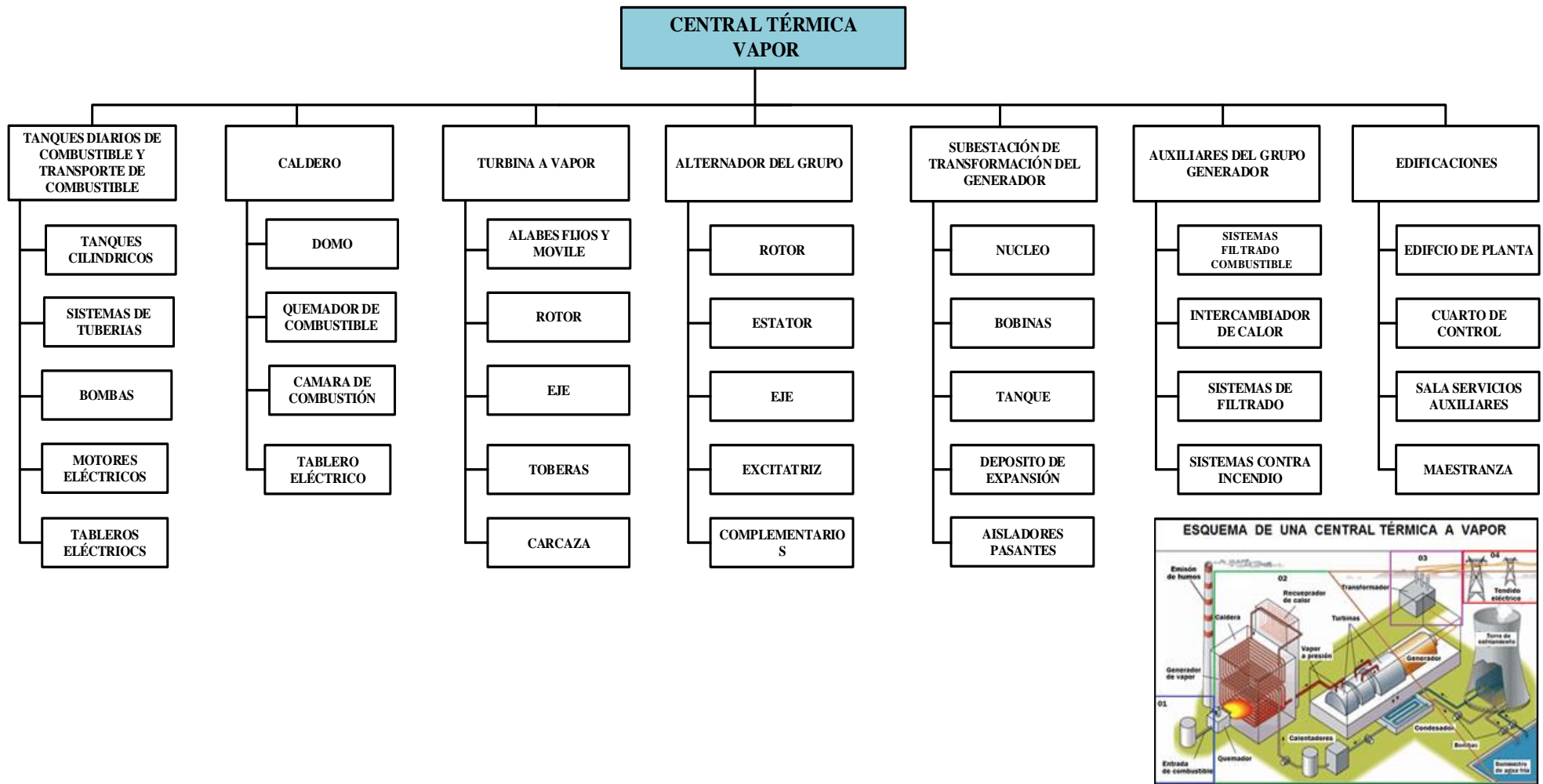


Figura 10: Taxonomía Central Térmica a Vapor; Equipo Mecánico, Sistemas y Componentes.

Fuente: Elaboración propia.

2.12. CONCEPTO DE VIDA ÚTIL

La vida útil de un activo físico es la medida por el periodo de tiempo, durante el cual la empresa espera utilizar el activo; o el número de unidades de producción o similares que se espera obtener.

La base de medición de la vida útil:

Tiempo: Se mide en días, meses, años.

Trabajo: Se mide en unidades de producción, horas.

2.12.1. Tipos de Vida Útil

- a. **Vida Útil Física:** La vida útil física de un activo se puede resumir como el periodo vital del activo, es decir todo el tiempo que puede durar el activo.
- b. **Vida Útil de Referencia (VUR):** El concepto de vida útil de un activo hace referencia al periodo de tiempo durante el cual se espera que un determinado activo de una empresa contribuya a la generación de ingresos.
- c. **Vida Útil Estimada (VUE):** También denominado vida útil remanente, vida útil restante, vida útil pronosticada de un activo fijo es la medida de tiempo, o el número de unidades de producción o similares hasta el momento en que falla.
- d. **Vida Útil Económica:** Es la cantidad de tiempo en que resulta económicamente viable seguir manteniendo ese activo. Poniendo el ejemplo de un auto, es hasta donde se decide que ya no es costeable seguirle haciendo reparaciones para mantenerlo funcionando y te resulta más barato comprar uno nuevo.

Se evalúa por dos métodos:

- La vida útil económica de activos relacionados con ingresos: Es aquella que mientras haya utilidad tiene vida útil económica, cuando las utilidades se vuelven ser termina la vida útil económica. Durante este periodo, los ingresos generados por el activo cubren todos los costos económicos de la empresa, lo que incluye los costos de operación y mantenimiento y los costos del capital invertido.
- La vida útil económica de activos relacionados con costos: Es independientemente de los ingresos, se determina por el tiempo en que el costo total del activo al periodo de reemplazo es el menor de todos. Durante este periodo, los costos económicos que corresponden al activo son marginalmente

menores que cualquier alternativa de periodo de permanencia del activo dentro del negocio. (ISO 15686, 2008)

e. Vida Útil por Obsolescencia Tecnológica: La vida útil por obsolescencia de un activo físico puede alcanzar por varias razones:

- Equipos con características tecnológicas más ventajosas con mayor eficiencia, mayores unidades de producción, mayor productividad.
- La no disponibilidad de repuestos, no existe el fabricante o la línea ha sido descontinuada.
- Altos costos de operación, mantenimiento y reparación en comparación a otros equipos similares en el mercado.
- No brinda las condiciones de confiabilidad, seguridad y funcionalidad de acuerdo a la situación actual, haciendo imposible o no recomendable su reparación.

f. Vida Útil por Obsolescencia Programada: Se denomina vida útil por obsolescencia programada u obsolescencia planificada a la determinación o programación del fin de la vida útil de un producto o servicio, de modo tal que tras un período de tiempo calculado de antemano por el fabricante o por la empresa durante la fase de diseño de dicho producto o servicio, éste se torne obsoleto no funcional, inútil o inservible. (ISO 15686, 2008)

g. Vida Útil por Obsolescencia Percibida: Cuando crean un producto con un cierto aspecto, y más adelante se vende exactamente el mismo producto cambiando tan solo el diseño del mismo. Esto es muy evidente en la ropa, cuando un año están de moda los colores claros, y al siguiente los oscuros, para que el comprador se sienta movido a cambiar su ropa perfectamente útil y así ganar más dinero.

h. Vida Útil por Obsolescencia de Especulación: Cuando éste comercializa productos incompletos o de menores prestaciones a bajo precio con el propósito de afianzarse en el mercado ofreciendo con posterioridad el producto mejorado que bien pudo comercializar desde un principio, con la ventaja añadida de que el consumidor se lleva la falsa imagen de empresa dinámica e innovadora. (ISO 15686, 2008).

2.13. FACTORES QUE LIMITAN LA VIDA ÚTIL DE LOS ACTIVOS FÍSICOS

Los factores son elementos de causa y efecto que condicionan una circunstancia, volviéndose los causantes de la modificación o evolución de los hechos.

Los diferentes tipos de factores evaluados, analizados y seleccionados nos permiten concluir que estamos en el camino correcto de proponer una metodología de estimación de vida útil renanamente que sea práctica, económica y con un nivel de confianza mínima del cincuenta por ciento.

Los factores seleccionados son los factores técnicos y operacionales que van vinculados en el transcurso desarrollo del ciclo de vida de funcionamiento y estos condicionan la degradación o durabilidad de los componentes, sistemas y equipos mecánicos va unidos a la producción, rendimiento que condicionan su vida útil remanente. Es de suma transcendencia evaluar y seleccionar técnicamente los factores técnicos y operacionales para luego calcular sus indicadores y índices a través de modelos deterministas o estocásticos que son los causantes del desgaste, rebajamiento, obsolescencia y física de los activos físicos.

2.13.1. Beneficios de Estimación Vida Útil de Activos Físicos

a. Beneficio Económico

1. Balance de activos: Depreciación
2. Costos de mantenimiento
3. Producción: Lucro cesante
4. Márgenes de ganancia globales: Beneficio-Costo
5. Gestión y reemplazo

b. Beneficio Técnico

1. Operaciones funcionales predefinidos
2. Estrategias de mantenimiento
3. Disponibilidad
4. Confiabilidad
5. Requisitos de seguridad y regulatorios
6. Requisitos ambientales

c. Beneficio Gestión Industrial

1. Valor agregado
2. Sostenibilidad
3. Competitividad

2.14. METODOLOGÍA ESTIMACIÓN DE VIDA ÚTIL MÉTODO POR FACTORES NORMA ISO 15686-8

El método de los factores utiliza un enfoque determinista permitiendo estimar la vida útil de un elemento o sistema sujeto a unas condiciones específicas basándose en una vida útil de referencia y modificándose mediante unos factores relativos a las condiciones específicas de cada caso en su contexto operacional.

ORIGEN DEL MÉTODO

Inicialmente el método fue promovido por los japoneses en la década de los noventa con la publicación «Guide for service life planning of buildings» (AIJ 1993). Más recientemente, se ha publicado la Norma ISO 15686 «Service life planning» que describe este método en su Parte 8.

En el método propuesto por los japoneses se enumeran los siguientes factores:

Factores relativos a las características de durabilidad inherentes:

- Rendimiento de los materiales
- Nivel de diseño
- Nivel de calidad en la ejecución
- Nivel de mantenimiento

Factores relacionados con el deterioro:

- Lugar de emplazamiento y condiciones ambientales
- Condiciones del edificio

Los factores que luego son cuantificados y combinados en diferentes ecuaciones, dependen de una evaluación de cómo y en qué medida influyen en la vida útil del edificio en cuanto a sus sistemas constructivos y materiales. La vida útil estimada se calcula como la vida útil estándar multiplicada por los diversos factores combinados de diferentes maneras, dependiendo del producto real a ser evaluado.

2.14.1. Descripción del Método según Norma ISO 15686-8

En la Norma ISO 15686-8:2008 se describe el método de los factores y se dan indicaciones de cómo establecer la vida útil de referencia y cada uno de los factores.

El método utiliza la modificación mediante los siguientes factores:

- Factor A: Calidad de los componentes
- Factor B: Nivel de diseño

- Factor C: Nivel de calidad en la ejecución de las obras
- Factor D: Condiciones interiores
- Factor E: Condiciones de exposición exteriores
- Factor F: Condiciones de uso
- Factor G: Nivel de mantenimiento

El método de los factores puede expresarse con la siguiente fórmula:

$$VUE = VUR \times \text{Factor A} \times \text{Factor B} \times \text{Factor C} \times \text{Factor D} \times \text{Factor E} \times \text{Factor F}$$

Donde:

VUE: Vida útil estimada

VUR: Vida útil de referencia

- Factor A: Calidad de los componentes
- Factor B: Nivel de diseño
- Factor C: Nivel de calidad en la ejecución de las obras
- Factor D: Condiciones interiores
- Factor E: Condiciones de exposición exteriores
- Factor F: Condiciones de uso

La norma incluye en el Anexo F dos ejemplos de aplicación: un dintel metálico en un muro de ladrillo con cámara y una ventana de madera blanda. Se expone a continuación el ejemplo:

Vida de servicio estimada de una ventana de madera blanda:

$$VUE = VUR \times \text{Factor A} \times \text{Factor B} \times \text{Factor C} \times \text{Factor D} \times \text{Factor E} \times \text{Factor F} \times \text{Factor G}$$

VUR Vida de servicio de referencia en años

Factor A: Calidad de los componentes

Madera roja de baja durabilidad, pero con un tratamiento de doble capa para una mejor conservación: 1.2

Factor B: Nivel de diseño

Bueno, aristas redondeadas, antepecho debidamente proyectado: 1.2

Factor C: Nivel calidad en la ejecución de las obras

El vidrio viene montado de fábrica: 1.2

Factor D: Condiciones interiores

No es agresivo, bajo riesgo de condensaciones: 1

Factor E: Condiciones de exposición exteriores

Protegida del viento/lluvia y partículas: 1.2

Factor F: Condiciones de uso: Acceso ocasional de niños, 1

Factor G Nivel de mantenimiento: Reposición del sellado de las juntas cada 3 o 4 años, 1.2

$VUE = VUR \times 1.2 \times 1.2 \times 1.2 \times 1 \times 1.2 \times 1 \times 1.2$

Si la VUR son 25 años, el valor de la VUE son aproximadamente 62 años.

2.15. ESTUDIO DEL ARTE

En el estudio del arte se llevará a cabo una referencia a la construcción de un análisis de tipo documental, este muestre los avances más importantes que se han logrado con respecto al conocimiento del tema en materia de predicción de la vida útil activos físicos.

El concepto de estimación de vida útil remanente se utiliza para pronosticar la duración de los diferentes activos físicos de una empresa. A medida que los clientes demandan sistemas dinámicamente controlados, es necesario contar con un sistema de monitoreo continuo que rastree, identifique las tendencias y las fuentes de degradación de los componentes, sistemas y activos antes de la falla. La capacidad de alerta temprana busca detectar, aislar y estimar la gravedad de las fallas en función de la propagación de fallas y la degradación detectada para predecir su estimación de vida útil. Por lo general, la VUE es aleatoria y se estima a partir de las fuentes disponibles de la condición y la información de monitoreo de la salud. La VUE de un activo también es esencial en la ingeniería de reacondicionamiento en la decisión de retirar los componentes de servicio para la refabricación, esta revisión se centra en los diferentes métodos de predicción de vida útil de componentes, sistemas y equipos mecánicos. (Hu, 2014) hace una revisión sistemática exhaustiva de los modelos de predicción de vida restante y plantea una clasificación de los métodos existentes en la Figura 1; donde están compuesto por: métodos basados en datos de fallas, métodos basados en datos de degradación y métodos basados en la fusión de información de múltiples fuentes. (Yaguo, 2017) en su artículo expuesto realiza una estadística de los métodos de predicción de vida útil utilizados en los últimos años en trabajos de investigación,

de los cuatro procesos de modelado de los 274 artículos revisados mostrados en la Figura 2, el método estadístico tiene el 56%, método de inteligencia artificial con el 26%, método físico 10% y métodos híbridos con 8 %. (Vaidya, 2011) en este artículo de investigación aclara los conceptos de la vida útil restante con salud técnica, define y analiza diversos factores influyentes como salud técnica, condiciones operacionales futuras, condiciones ambientales futuras, donde propone un modelo general con la capacidad de manejar una combinación heterogénea de requisitos, tales como modelos de degradación, condiciones ambientales y operativas inciertas, datos de sensores inciertos y se sugiere la opinión de expertos para la toma de decisiones de extensión de vida y concluye que un enfoque de modelado basado en física es apropiado para equipos en la industria submarina de petróleo y gas.

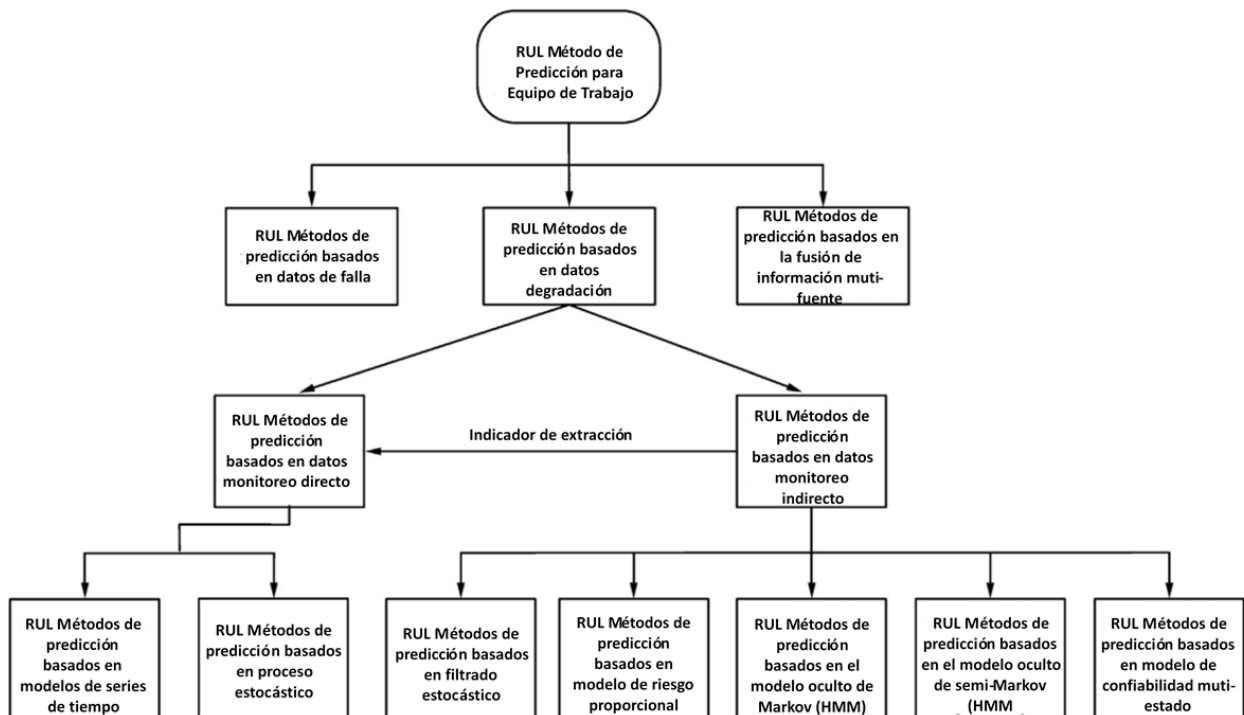


Figura 11: Clasificación Métodos de Predicción VUE para Equipos de Trabajo

Fuente: (Hu, 2014)

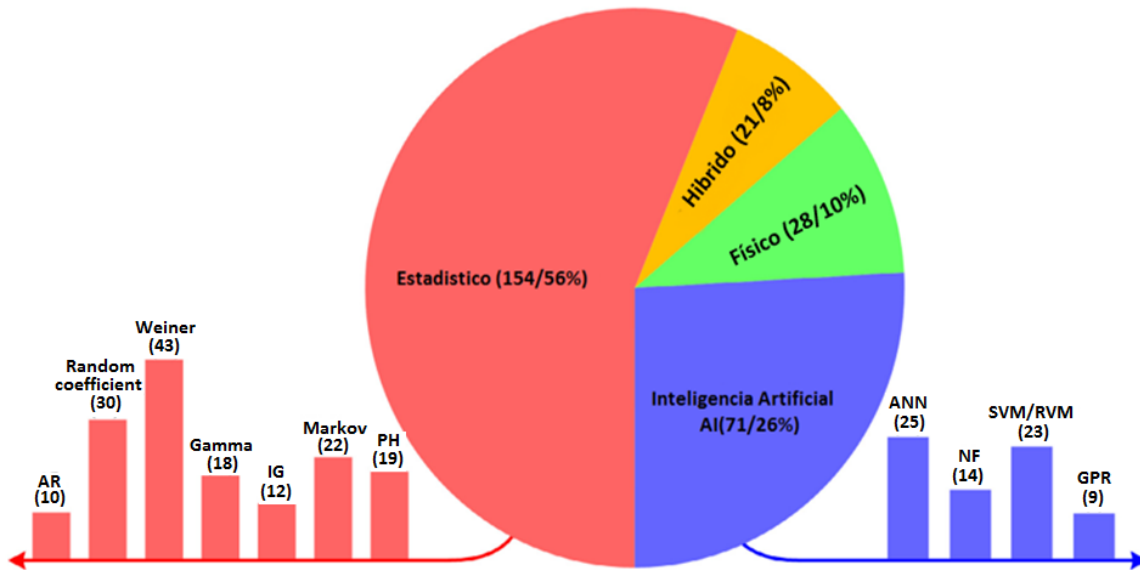


Figura 12: Estadística de Paper Publicados para Predicción VUE en Mantenimiento Basado en la Condición. Fuente: (Yaguo, 2017)

(Boškoski, 2017), indica que la predicción de estimación de vida útil de una máquina rotativa de granallado mediante el análisis de las grabaciones de sensores vibratorios de bajo costo, se modela por un algoritmo esperanza-maximización (EM) computacionalmente simple y simulaciones de Monte Carlo sobre las realizaciones de ruido, su principal novedad se basa en los índices de divergencia generalizada Jensen-Rényi (JRD) obtenidos de grabaciones vibratorias. Se muestra que al emplear la divergencia proporciona una indicación suave de desgaste progresivo. El hallazgo importante es que la divergencia de JRD puede estar relacionada linealmente con la masa eliminada de las palas de la turbina debido al desgaste abrasivo. En base a este resultado, se logra una predicción de VUE precisa, el enfoque se valida experimentalmente haciendo funcionar la máquina hasta la falla. (Kalmakov, 2017) indica para activos como autos y camiones en base a los datos de monitoreo conocidos en las condiciones de operación describe un enfoque de pronóstico para estimar la vida útil remanente, el algoritmo para el cálculo utiliza la información sobre el estado técnico de los vehículos obtenidos a partir de los sensores del sistema de medición a bordo. La predicción de vida útil restante se basa en la comparación del estado técnico actual de un vehículo con el estado esperado que está determinado por el modelo matemático de usar el kilometraje dado. El algoritmo utilizado para determinar el estado técnico y la vida útil restante; el modelo es simulado e implementado usando MATLAB Simulink

este enfoque propuesto es muy adecuado para integrarse en el equipo de a bordo del automóvil y puede aplicarse a una amplia variedad de industrias automotrices, aeronaves e industrias similares. (Ahmadzadeh, 2013) analiza el revestimiento de los molinos de molienda como componente crítico en la gran medida de medir el desgaste de los revestimientos, un enfoque integral llamado redes neuronales artificiales (ANN) proporciona estimación de vida remanente con niveles más altos de certeza; los datos de degradación y monitoreo de condiciones se analizaron mediante el desarrollo de una red neuronal de retro-propagación de retroalimentación de tres capas, que constaba de nueve entradas que se redujeron a cinco después de aplicar PCA, dos capas ocultas de 25 y 50 neuronas respectivamente y dos nodos en las capas de salida, altura restante (mm) y vida restante, los resultados tuvieron una precisión del 90% y el rendimiento del modelo de red neuronal fue muy uniforme tanto para los datos de entrenamiento como para los datos de prueba. (Si, 2017) la revisión se centra en los enfoques basados en datos estadísticos que se basan únicamente en datos observados en el pasado disponibles y modelos estadísticos. Los enfoques se clasifican en dos grandes tipos de modelos, es decir, modelos que dependen de la información del estado directamente observada del activo, y los que no. Revisamos sistemáticamente los modelos y enfoques informados en la literatura y finalmente destacamos los desafíos futuros de la investigación. la clasificación se observa en la Figura 13.

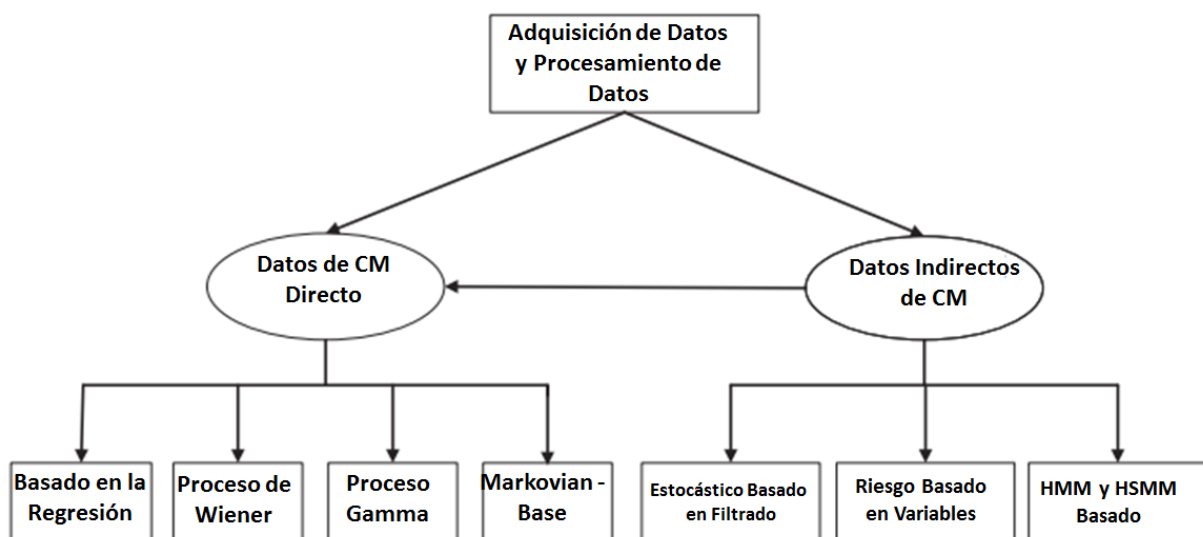


Figura 13: Taxonomía Enfoques Basados en Datos Estadísticos para la Estimación de Vida Útil (VUE). Fuente: (Si, 2017)

(Hong, 2017), este artículo realiza avances de la investigación en campos relacionados con los desechos de desgaste mecánico, como los mecanismos de desgaste, las características de los desechos, los métodos de detección, el procesamiento de la señal y el diagnóstico y pronóstico de fallas en componentes y sistemas de los equipos. Tiene algunas observaciones como las características de desechos existentes tales como el tamaño y la distribución que son difíciles de determinar, además el progreso del desgaste determinado por velocidad de generación, donde el monitoreo en línea de los desechos pueden proporcionar un pronóstico eficaz para determinar la estimación de vida útil del componente mecánicos y sistemas de los activos.

La Norma ISO 13381-1: 2015 de Monitorización de estado; diagnóstico y pronóstico de máquinas, donde los pronósticos de fallas son un campo nuevo donde existen pocas aplicaciones. En la última década, el interés por esta actividad ha llevado a algunos estándares abiertos e industriales donde el objetivo principal es proporcionar a los usuarios una guía que les permita realizar pronósticos de fallas para una gran clase de sistemas industriales. Sin embargo, esta Norma no proporciona ninguna cuantificación numérica de la estimación de vida útil ni sobre el intervalo de confianza correspondiente, ni tampoco utiliza ninguna herramienta matemática de modelado o proyección específica.

La Norma ISO 15686 sobre edificios y activos construidos, incluida la planificación de la vida útil, es una contribución esencial al desarrollo de una política para la vida del diseño. proporciona orientación para la selección y el formato de la vida útil de referencia y sobre la aplicación de estos datos para el cálculo de vida útil estimada utilizando el método de los factores, esto permite decidir si la vida útil estimada es menor que la vida de diseño del edificio, se debe tomar una decisión sobre si el mantenimiento, la reparación o el reemplazo podrían garantizar que sus funciones esenciales se puedan mantener adecuadamente.

En los últimos años, se ha llevado a cabo una importante cantidad de investigaciones para desarrollar modelos de pronóstico (Sikorska, 2011) este documento realiza una revisión exhaustiva, abarca el campo tradicional de los pronósticos, pero se extiende más allá de esto para considerar las aplicaciones de otros campos y están basados en el conocimiento (experto y difuso), la esperanza de vida (estocástica y estadística), las redes neuronales artificiales y modelos físicos, donde concluye que los modelos de

riesgos proporcionales y las redes neuronales artificiales son de mejor aceptación por su nivel de confianza.

(Villada, 2009) ha desarrollado un modelo de degradación por corrosión atmosférica para el acero y el zinc utilizados en el sistema de transmisión de energía eléctrica en Colombia, donde identifica la tasa de corrosión, la función distribución de probabilidad de la vida útil y las actividades mantenimiento, el modelo identifica las funciones de pérdida de masa y grosor en el tiempo, lo que define límites de estados de degradación y falla los cuales son simulados mediante cadenas de Markov para evaluar la estimación de vida útil. (Zhang, 2017) realiza una revisión de los métodos basados en el proceso Wiener denominado modelado estocástico que es el más popular según los autores del artículo, las décadas anteriores han sido testigos de notables desarrollos y extensas aplicaciones de estos métodos, también revisa modelos desarrollando recientemente basados en las variantes del proceso al considerar la no linealidad, la variabilidad de múltiples fuentes, las covariables y las multivariadas involucradas en los procesos de degradación y la estimación de RUL. Para estimar la vida útil de baterías recargable (Wang, 2017) lo realiza por el método basado en el movimiento browniano de deriva no lineal con múltiples estados ocultos y luego realiza comparaciones con el método de pronóstico estándar basado en PF, el método de pronóstico basado en la cubiletecia esférica PF y el método de pronóstico bayesiano clásico se llevaron a cabo para demostrar que el movimiento browniano derivado de deriva no lineal con los múltiples estados ocultos tiene errores de predicción promedio más bajos. (Animah, 2017) Los activos de petróleo y gas en alta mar son estructuras muy complejas que comprenden varios componentes, estos activos, durante su vida operativa, están sujetos a diversos mecanismos de degradación tales como corrosión, erosión, desgaste, fluencia y grietas por fatiga. Los autores han propuesto tres módulos: módulo de evaluación de condiciones de subsistemas críticos o componentes para operaciones extendidas, módulo de predicción VUE y el módulo de toma de decisiones.

CAPITULO III

METODOLOGÍA ESTIMACIÓN DE VIDA ÚTIL PARA COMPONENTES, SISTEMAS Y EQUIPOS MECÁNICOS

3.1. INTRODUCCIÓN

La metodología propuesta hace mención de un conjunto de procedimientos racionales utilizados para obtener una gama de objetivos, la propuesta es calcular la estimación de vida útil donde valora el estudio de los factores técnicos y operacionales que inciden en la determinación de la vida útil de los componentes, sistemas y equipos mecánicos.

El tratamiento de valoración de vida útil restante para componentes, sistemas y equipos mecánicos en el lapso del tiempo de operación, se tiene cinco opciones:

- La vida útil restante es cronológica con el tiempo de acuerdo a la vida útil de referencia menos al tiempo transcurrido.
- La vida útil restante es constante con el tiempo el activo físico este intacto como nuevo.
- La vida útil restante crece paulatinamente con el tiempo.
- La vida útil restante se deteriora paulatinamente con el tiempo.
- La vida útil restante se deteriora drásticamente con el tiempo.

La formulación propuesta es una ecuación matemática, la vida útil estimada equivale a la vida útil de referencia multiplicada por los factores técnicos y operacionales más trascendentes en la degradación. La vida útil de referencia se obtiene del fabricante, historial de los activos de las empresas, ponencias presentadas en jornadas y congresos internacionales, bibliografía especializada en vida útil, información de asociaciones técnicas, información derivadas de normas reconocidas (API, ASME, ASTM, NEC), información sobre el historial de altas y retiros de unidades o componentes de las empresas.

3.2. PROPUESTA METODOLÓGICA ESTIMACIÓN VIDA ÚTIL POR FACTORES TÉCNICOS Y OPERACIONALES EQUIPOS MECÁNICOS

Extender la vida de un activo físico ha sido durante mucho tiempo un asunto importante y muy discutido en las industrias nuclear, la aviación, industria submarina, industria del petróleo y ahora está en la industria de producción de bienes y servicios, donde la toma de decisiones relacionadas con la extensión de la vida es un problema multidisciplinario que depende de los factores intervinientes a lo largo de su ciclo de vida.

Los factores de degradación en la salud técnica tienen influencia en sus extensiones, en el análisis de investigación propuesta se sugiere un modelo factorial dominado por factores condicionantes con la capacidad de manejar una combinación heterogénea de requisitos, como modelos de degradación, condiciones ambientales y operativas inciertas, opinión de expertos para la toma de decisiones sobre la extensión de la vida, este modelo está basado en la física, estadística y es apropiado para los equipos de las diferentes industrias.

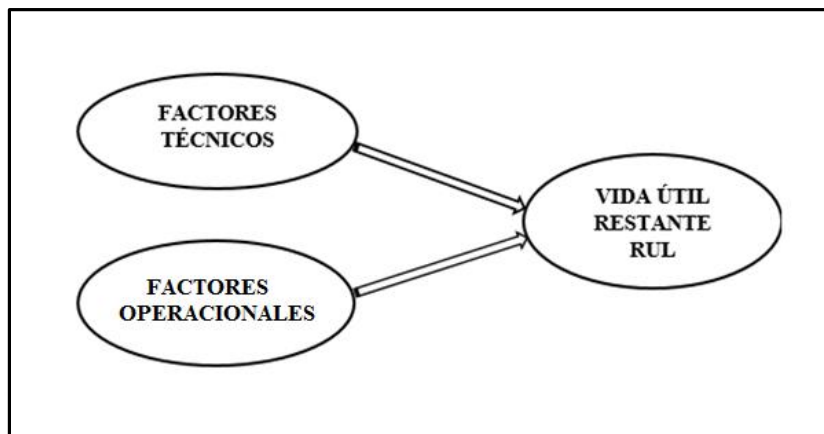
La experiencia ha demostrado que las estimaciones iniciales de la vida útil a menudo no son muy claras, no son prácticas y son demasiado complejas; la vida útil real que significativamente más larga que la vida útil planificada inicialmente donde esto conlleva a análisis de incertidumbres técnicos y económicos.

La finalidad de esta propuesta metodológica es establecer un proceso para la evaluación técnica de la salud y explicar la relación entre la salud técnica, la vida útil restante y la toma de decisiones sobre la extensión de la vida.

Con el modelo y sustento técnico propuesto se toma decisiones sobre la extensión de la vida, donde se considera todos los factores técnicos y operacionales condicionantes en la degradación más no se ha considerado los factores organizativos y humanos.

La necesidad de plantear un modelo de vida útil restante adaptado por medio de factores adaptado de la Norma ISO 15686 para satisfacer las necesidades de la industria proporciona un modelo práctico y económico y lo determinante es la elección adecuada de los factores degradantes de la vida útil restante de los activos físicos y luego la selección de los factores más influyentes.

Después de una revisión científica –tecnológica los factores incidentes que dependen de la durabilidad de los activos físicos son factores técnicos y operacionales como lo muestra la Figura 14, adaptado del artículo de investigación Vaidya & Rausand, 2011.



*Figura 14: Factores de Influencia en la Vida Útil Restante Adaptado
Fuente: (Vaidya & Rausand, 2011)*

3.2.1. Ventajas y Desventajas de Formular Estimación de Vida Útil por Métodos de Factores

La metodología para estimar la vida útil de componentes, sistemas y equipos mecánicos basado en factores técnicos y operacionales con aproximación a la Norma ISO -15686 a continuación indicamos sus ventajas y desventajas.

Ventajas:

1. Bajo costo
2. Se considera la degradación en forma probabilística de los factores
3. Fácil de entender y rápida aplicación
4. Reducción drástica de la incertidumbre, de la angustia y la subjetividad, con el consecuente incremento de la efectividad de la organización y bienestar en la gestión de mantenimiento.

Desventajas:

1. Alto costo en la toma de datos reales y un determinado tiempo.
2. Baja precisión y fiabilidad en el método
3. Aplicación en proyectos de gran escala

3.3. PROPUESTA METODOLÓGICA ESTIMACIÓN VIDA ÚTIL PARA COMPONENTES POR FACTORES TECNICOS Y OPERACIONALES DE EQUIPO MECÁNICO

La propuesta del modelo para estimar la vida útil de componentes en los equipos mecánicos se expone en el siguiente punto:

3.3.1. Fases Modelo Estimación de Vida Útil de Componentes de Equipo Mecánico

FASE I: Identificación del Equipo Mecánico

Identificar el equipo mecánico por medio de su ficha técnica, donde muestre las características técnicas específicas, funciones primarias, funciones secundarias, condiciones del contexto operacional, costo de adquisición, costo de operación, rendimiento del equipo, sistemas y componentes que lo componen. La aplicación en esta fase de la metodología propuesta es donde se identifican las variables de las condiciones generales de servicio, las condiciones económicas respecto a la planeación de su vida útil.

El equipo a evaluar no es un conjunto homogéneo debido a los diferentes sistemas y componentes que lo integran y variaciones de los modelos de los fabricantes, las condiciones ambientales de operación hacen necesario la identificación particular de cada activo para delimitar el estudio.

Identificado el activo físico por su clase y historial documentado respectivo de acuerdo con los modos de falla funcionales definidas, modos de degradación y las estrategias de mantenimiento y el criterio del experto se procede a la siguiente fase.

FASE II: Taxonomía del Equipo Mecánico

La taxonomía se acondiciona a la Norma ISO 14224 correspondiente para la propuesta metodológica y su jerarquización, planteamos en tres o cuatro niveles de subdivisión que encamina desde los componentes, sistemas y el equipo mecánico. La configuración se debe realizar de la manera más categórica y clara como el modelo que se muestra en las Figuras 15,16.

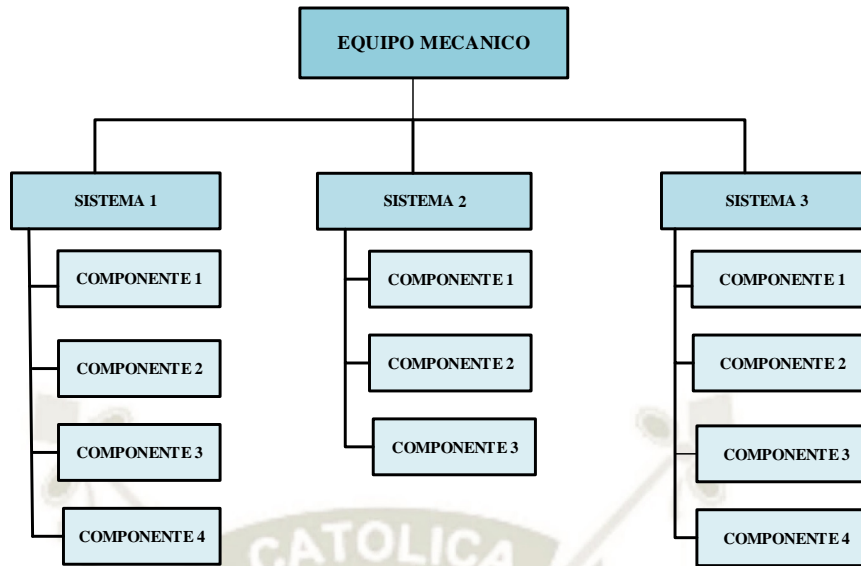


Figura 15: Taxonomía Equipo Mecánico Tres Niveles para Estimación de Vida Útil. Fuente: Elaboración propia

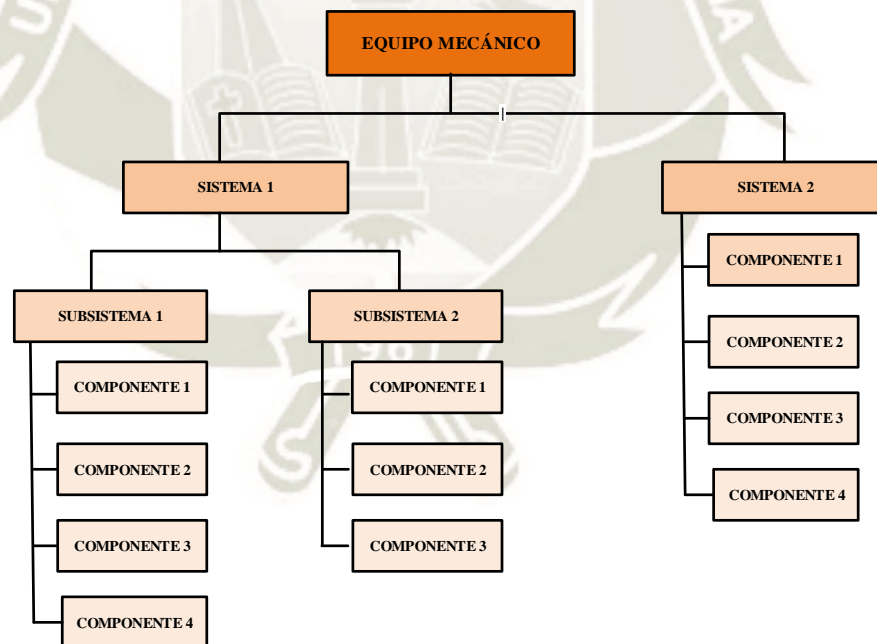


Figura 16: Taxonomía Equipos Mecánico Cuatro Niveles para Estimación de Vida Útil. Fuente: Elaboración propia

FASE III: Modelo Estimación de Vida Útil para Componentes por Factores Técnicos y Operacionales Equipo Mecánico

El modelo de los factores utiliza un enfoque determinista permitiendo estimar la vida útil del componente mecánico sujeto a unas condiciones específicas basándose en una vida útil de referencia y modificándose mediante unos factores técnicos y operacionales relativos a las condiciones específicas de cada caso en su contexto operacional.

El modelo propuesto de factores técnicos y operacionales relativos a las características de durabilidad inherentes al componente mecánico son los siguientes factores:

FACTORES TÉCNICOS:

- Factor A: Calidad de material
 - Subfactor A1: Tenacidad
 - Subfactor A2: Esfuerzo de tracción
 - Subfactor A3: Dureza
 - Subfactor A4: Maquinabilidad
- Factor B: Diseño de equipos
 - Subfactor B1: Factor de seguridad
 - Subfactor B2: Funcionamiento
- Factor C: Nivel de mantenimiento
 - Subfactor C1: Confiabilidad
 - Subfactor C2: Mantenibilidad
 - Subfactor C3: Disponibilidad
- Factor D: Tecnología y obsolescencia
 - Subfactor D1: Eficiencia
 - Subfactor D2: Eficacia
 - Subfactor D3: Efectividad

FACTORES OPERACIONALES:

- Factor E: Condiciones ambientales
 - Subfactor E1: Corrosión humedad
 - Subfactor E2: Corrosión seca
- Factor F: Condiciones de operación y obsolescencia
- Factor G: Obsolescencia económica

Los factores son cuantificados con diferentes ecuaciones, dependen de una evaluación de cómo y en qué medida influyen en la vida útil del componente mecánico.

MODELO ESTIMACIÓN DE VIDA ÚTIL PARA COMPONENTES POR FACTORES TÉCNICOS Y OPERACIONALES DE EQUIPO MECÁNICO

Este modelo describe el método de los factores y se dan indicaciones de cómo establecer la vida útil de referencia y el cálculo de cada uno de los factores .

El método de los factores puede expresarse con la siguiente fórmula:

FORMULA:

$$VUE = VUR \times \text{Factor A} \times \text{Factor B} \times \text{Factor C} \times \text{Factor D} \times \text{Factor E} \times \text{Factor G}$$

Donde:

VUE: Vida útil estimada del componente del equipo mecánico. (Años)

VUR: Vida útil de referencia del componente del equipo mecánico. (Años).

- Factor A: Calidad de material
 - Subfactor A1: Tenacidad
 - Subfactor A2: Esfuerzo de tracción
 - Subfactor A3: Dureza
 - Subfactor A4: Maquinabilidad
- Factor B: Diseño de equipos
 - Subfactor B1: Factor de seguridad
 - Subfactor B2: Funcionamiento
- Factor C: Nivel de mantenimiento
 - Subfactor C1: Confiabilidad
 - Subfactor C2: Mantenibilidad
 - Subfactor C3: Disponibilidad
- Factor D: Tecnología y obsolescencia
 - Subfactor D1: Eficiencia
 - Subfactor D2: Eficacia
 - Subfactor D3: Efectividad
- Factor E: Condiciones ambientales
 - Subfactor E1: Corrosión humedad
 - Subfactor E2: Corrosión seca
- Factor F: Condiciones de operación y obsolescencia

- Factor G: Obsolescencia económica

El nivel de confianza para este modelo, sus fortalezas lo determinan la experiencia del profesional, equipo de consultores de la especialidad, el adecuado modelo para calcular el índice de deterioro que serán determinantes para la estimación de la vida útil propuesta.

Por lo tanto, este método del factor propuesto tiene en cuenta los factores técnicos y operacionales pertinentes en los componentes de los equipos mecánicos donde proponemos la estimación de vida útil recomendado por la norma del método de los factores ISO 15686-8.

FASE IV: Formato para Factores Técnicos y Operacionales de Componentes de Equipo Mecánico

La Fase III está la fórmula para estimar la vida útil del componente del equipo mecánico; donde la vida útil de referencia se obtiene del fabricante, historial de los activos de las empresas, ponencias presentadas en jornadas y congresos internacionales, bibliografía especializada en vida útil, información de asociaciones técnicas, información derivadas de normas internacionales.

En la Tabla 1 muestra la categoría de los factores, categoría de los subfactores, indicadores, índices: Donde luego procedemos a promediar los índices de cada factor técnico y operacional para luego reemplazarlo en la fórmula propuesta así obtener la estimación vida útil de cada componente mecánico.

Tabla 1: Formato Estimación de Vida Útil de Componentes por Factores Técnicos y Operacionales de Equipo Mecánico

FACTOR	CATEGORIA DEL FACTOR	SUBFACTOR	CATEGORIA DEL SUBFACTOR	INDICADOR	INDICE	VALOR SUBFACTOR	VALOR FACTOR
FACTOR A	CALIDAD DE MATERIAL	A1	TENACIDAD	TENACIDAD	COEFICIENTE DE TENACIDAD		
		A2	ESFUERZO DE TRACCIÓN MÁXIMO	ESFUERZO TRACCIÓN MÁXIMO	COEFICIENTE DE ESFUERZO		
		A3	DUREZA	DUREZA BRINELL	COEFICIENTE DE DUREZA BRINELL		
		A4	MAQUINABILIDAD	INDICE MAQUINABILIDAD	INDICE DE MAQUINABILIDAD		
FACTOR B	DISEÑO DE EQUIPOS	B1	FACTOR SEGURIDAD	FACTOR SEGURIDAD	INDICE FACTOR DE SEGURIDAD		
		B2	FUNCIONAMIENTO	METODO DE TAGUCHI	INDICE DE CALIDAD		
FACTOR C	NIVEL DE MANTENIMIENTO	C1	CONFIABILIDAD	CONFIABILIDAD	CONFIABILIDAD		
		C2	MANTENIBILIDAD	MANTENIBILIDAD	MANTENIBILIDAD		
		C3	DISPONIBILIDAD	DISPONIBILIDAD	DISPONIBILIDAD		
FACTOR D	TECNOLOGIA Y OBSOLESCENCIA	D1	EFICIENCIA	EFICIENCIA	INDICE EFICIENCIA		
		D2	EFICACIA	EFICACIA	INDICE EFICACIA		
		D3	EFFECTIVIDAD	EFFECTIVIDAD	EFFECTIVIDAD		
FACTOR E	CONDICIONES AMBIENTALES	E1	CORROSIÓN HUMEDAD	VELOCIDAD DE CORROSIÓN	COEFICIENTE DE ESPESORES		
		E2	CORROSIÓN SECA	VELOCIDAD DE CORROSIÓN	COEFICIENTE DE ESPESORES		
FACTOR F	CONDICIONES DE OPERACIÓN Y OBSOLESCENCIA	F1	USO	DEPRECIACIÓN POR USO	RELACIÓN DE USO		
FACTOR G	OBSOLESCENCIA ECONÓMICA	G1	RENDIMIENTO DIFERENCIADO COMPARADO	RENTABILIDAD	ROI		

VIDA ÚTIL ESTIMADA = VIDA ÚTIL DE REFERENCIA x Factor A x Factor B x Factor C x Factor D x Factor E x Factor E x Factor G

Fuente: Elaboración propia

3.4. PROPUESTA METODOLÓGICA ESTIMACIÓN VIDA ÚTIL DE SISTEMAS POR FACTORES TÉCNICOS, OPERACIONALES Y COSTO DE COMPONENTES

La propuesta metodológica para estimar la vida útil de sistemas en los equipos mecánicos según las siguientes fases a continuación:

3.4.1. Fases Modelo Estimación de Vida Útil de Sistemas de Equipos Mecánicos

FASE I: Identificación del Equipo Mecánico

Identificar el equipo mecánico por medio de su ficha técnica, donde muestre las características técnicas específicas, funciones primarias, funciones secundarias, condiciones del contexto operacional, costo de adquisición, costo de operación, rendimiento del equipo, sistemas y componentes que lo componen. La aplicación en esta fase de la metodología propuesta es donde se identifican las variables de las condiciones generales de servicio, las condiciones económicas respecto a la planeación de su vida útil.

El equipo a evaluar no es un conjunto homogéneo debido a los diferentes sistemas y componentes que lo integran y variaciones de los modelos de los fabricantes, las condiciones ambientales de operación hacen necesario la identificación particular de cada activo para delimitar el estudio.

Identificado el activo físico por su clase y historial documentado respectivo de acuerdo con los modos de falla funcionales definidas, modos de degradación y las estrategias de mantenimiento y el criterio del experto se procede a la siguiente fase.

FASE II: Taxonomía del Equipo Mecánico

Según la Norma ISO 14224 correspondiente debemos realizar al equipo mecánico su jerarquización para poder identificar los tres o cuatro niveles de subdivisión que va desde los componentes, sistemas y el equipo mecánico. Como se muestra en las Figuras 17, 18.

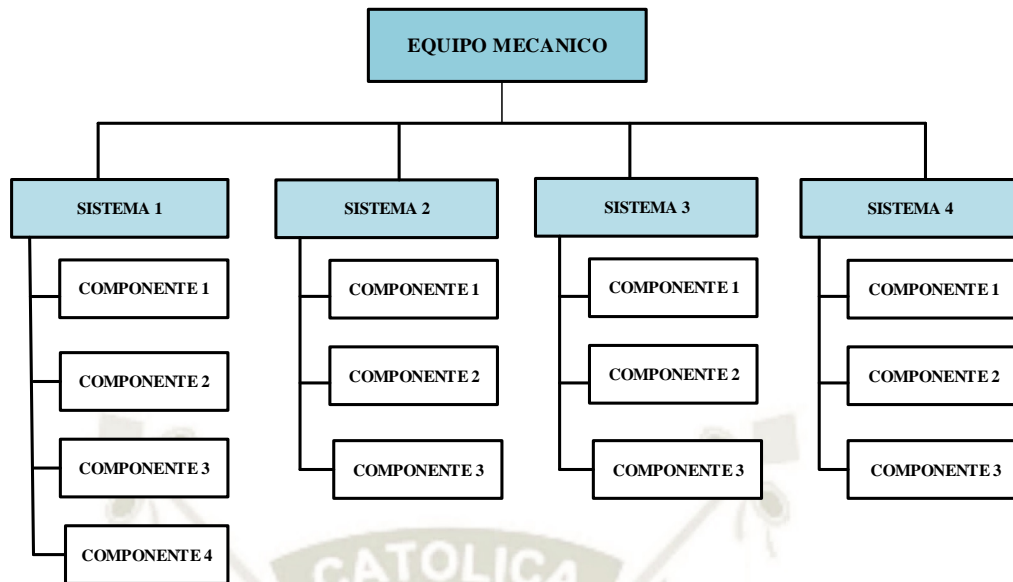


Figura 17: Taxonomía Equipo Mecánico Tres Niveles para Estimación de Vida Útil. Fuente: Elaboración propia

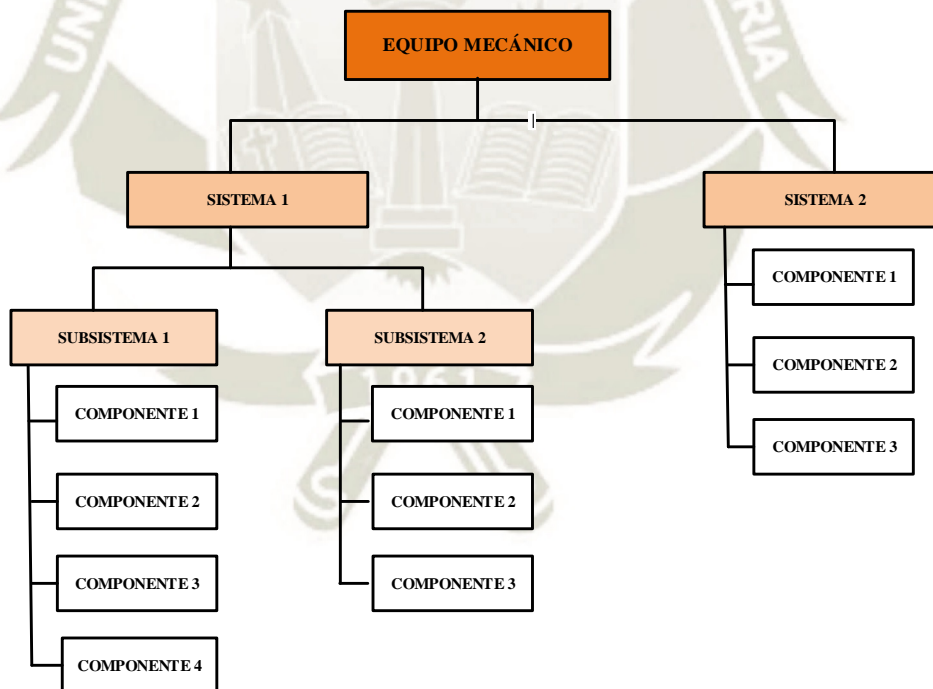


Figura 18: Taxonomía Equipos Mecánicos Cuatro Niveles para Estimación de Vida Útil. Fuente: Elaboración propia

FASE III: Modelo Estimación de Vida Útil de Sistemas por Factores Técnicos, Operacionales y Costo de Componentes de Equipo Mecánico

El modelo para estimar la vida útil de los sistemas del equipo mecánico debemos realizar lo siguiente.

Primero realizar la jerarquización según norma ISO 14224 del equipo mecánico mostrada en las figuras 17, 18, segundo estimar la vida útil de los componentes del equipo mecánico componente 1, componente 2, componente 3, componente 4 según la siguiente formula.

FORMULA:

$$VUE = VUR \times \text{Factor A} \times \text{Factor B} \times \text{Factor C} \times \text{Factor D} \times \text{Factor E} \times \text{Factor G}$$

Donde:

VUE: Vida útil estimada del componente del equipo mecánico. (Años)

VUR: Vida útil de referencia del componente del equipo mecánico. (Años).

- Factor A: Calidad de material
 - Subfactor A1: Tenacidad
 - Subfactor A2: Esfuerzo de tracción
 - Subfactor A3: Dureza
 - Subfactor A4: Maquinabilidad
- Factor B: Diseño de equipos
 - Subfactor B1: Factor de seguridad
 - Subfactor B2: Funcionamiento
- Factor C: Nivel de mantenimiento
 - Subfactor C1: Confiabilidad
 - Subfactor C2: Mantenibilidad
 - Subfactor C3: Disponibilidad
- Factor D: Tecnología y obsolescencia
 - Subfactor D1: Eficiencia
 - Subfactor D2: Eficacia
 - Subfactor D3: Efectividad
- Factor E: Condiciones ambientales
 - Subfactor E1: Corrosión humedad
 - Subfactor E2: Corrosión seca

- Factor F: Condiciones de operación y obsolescencia
- Factor G: Obsolescencia económica

Luego realizar el modelo propuesto en el siguiente punto.

MODELO ESTIMACIÓN DE VIDA ÚTIL DE SISTEMAS POR FACTORES TÉCNICOS, OPERACIONALES Y COSTO DE COMPONENTES

El modelo que se formula antes de proceder su cálculo se tiene que tener referencias la vida útil estimada de los componentes del sistema, costo de cada componente para el sistema del equipo mecánico. La propuesta del modelo se toma como referencia Figura 17,18.

FORMULA:

$$VUE = VUE \text{ COMP1} \times \text{NORM. COSTO COMP1} + VUE \text{ COMP2} \times \text{NORM. COSTO COMP2} + VUE \text{ COMP3} \times \text{NORM. COSTO COMP3} + VUE \text{ COMP4} \times \text{NORM. COSTO COMP4}.$$

Donde:

VUE: Vida útil estimada del sistema. (Años).

VUE COMP1: Vida útil estimada del componente 1. (Años).

NORM. COSTO COMP1: Normalizar costo componente 1 respecto al costo del total del sistema 1.

VUE COMP2: Vida útil estimada del componente 2. (Años).

NORM. COSTO COMP 2: Normalizar costo componente 2 respecto al costo del total del sistema 2.

VUE COMP3: Vida útil estimada del componente 3. (Años).

NORM. COSTO COMP 3: Normalizar costo componente 1 respecto al costo del total del sistema 3.

VUE COMP4: Vida útil estimada del componente 4. (Años).

NORM. COSTO COMP 4: Normalizar costo componente 4 respecto al costo del total del sistema 4.

$$\text{NORM COSTO COMP}i = \frac{\text{COSTO COMPONENTE } i}{\sum_1^n \text{COSTO DE COMPONENTES}}$$

NORM. COSTO COMP i: Normalizar costo componente i.

FASE IV: Formato para Vida Útil Estimada de Sistemas del Equipo Mecánico

La Fase III nos da fórmula para estimar la vida útil de cada sistema del equipo mecánico, en la Tabla 2 nos muestra la obtención de la vida útil estimada de cada sistema por medio de la sumatoria de los productos de la vida útil estimada de cada componente por la normalización del costo de cada componente.



Tabla 2: Formato Estimación Vida Útil de Sistemas por Factores Técnicos, Operacionales y Costo de Componentes

COMPONENTE MECÁNICO	VIDA ÚTIL ESTIMADA COMPONENTE (VUE) (Años)	COSTO COMPONENTE MECÁNICO (US\$)	NORMALIZAR EL COSTO DE CADA COMPONENTE	MULTIPLICAR VUE COMP _i X NORM COMP _i
COMPONENTE 1	VUE COMP1	COSTO COMP1	NORM. COSTO COMP. 1	VUE COMP1 X NORM. COSTO COMP. 1
COMPONENTE 2	VUE COMP2	COSTO COMP2	NORM. COSTO COMP. 2	VUE COMP2 X NORM. COSTO COMP2
COMPONENTE 3	VUE COMP3	COSTO COMP3	NORM. COSTO COMP. 3	VUE COMP3 X NORM. COSTO COMP3
COMPONENTE 4	VUE COMP4	COSTO COMP4	NORM. COSTO COMP. 4	VUE COMP4 X NORM. COSTO COMP4
	COSTO TOTAL DEL SISTEMA (US\$)	\sum COSTO COMP _i	VIDA ÚTIL ESTIMADA DEL SISTEMA (Años)	\sum VUE COMP _i X NORM. COMP _i

$$\text{VIDA ÚTIL ESTIMADA} = \text{VUE COMP1} \times \text{NORM. COSTO COMP1} + \text{VUE COMP2} \times \text{NORM. COSTO COMP2} + \text{VUE COMP3} \times \text{NORM. COSTO COMP3} + \text{VUE COMP4} \times \text{NORM. COSTO COMP4}$$

Fuente: Elaboración propia

3.5. PROPUESTA METODOLÓGICA ESTIMACIÓN VIDA ÚTIL DE EQUIPO MECÁNICO POR FACTORES TÉCNICOS, OPERACIONALES Y COSTO DE SISTEMAS

La propuesta metodológica para estimar la vida útil en los equipos mecánicos según las siguientes fases a continuación:

3.5.1. Fases Modelo Estimación de Vida Útil de Equipo Mecánico

FASE I: Identificación del Equipo Mecánico

Identificar el equipo mecánico por medio de su ficha técnica, donde muestre las características técnicas específicas, funciones primarias, funciones secundarias, condiciones del contexto operacional, costo de adquisición, costo de operación, rendimiento del equipo, sistemas y componentes que lo componen. La aplicación en esta fase de la metodología propuesta es donde se identifican las variables de las condiciones generales de servicio, las condiciones económicas respecto a la planeación de su vida útil.

El equipo a evaluar no es un conjunto homogéneo debido a los diferentes sistemas y componentes que lo integran y variaciones de los modelos de los fabricantes, las condiciones ambientales de operación hacen necesario la identificación particular de cada activo para delimitar el estudio.

Identificado el activo físico por su clase y historial documentado respectivo de acuerdo con los modos de falla funcionales definidas, modos de degradación y las estrategias de mantenimiento y el criterio del experto se procede a la siguiente fase.

FASE II: Taxonomía del Equipo Mecánico

Según la Norma ISO 14224 correspondiente debemos realizar al equipo mecánico su jerarquización para poder identificar los tres o cuatro niveles de subdivisión que va desde los componentes, sistemas y el equipo mecánico. Como se muestra en las Figuras 19, 20.

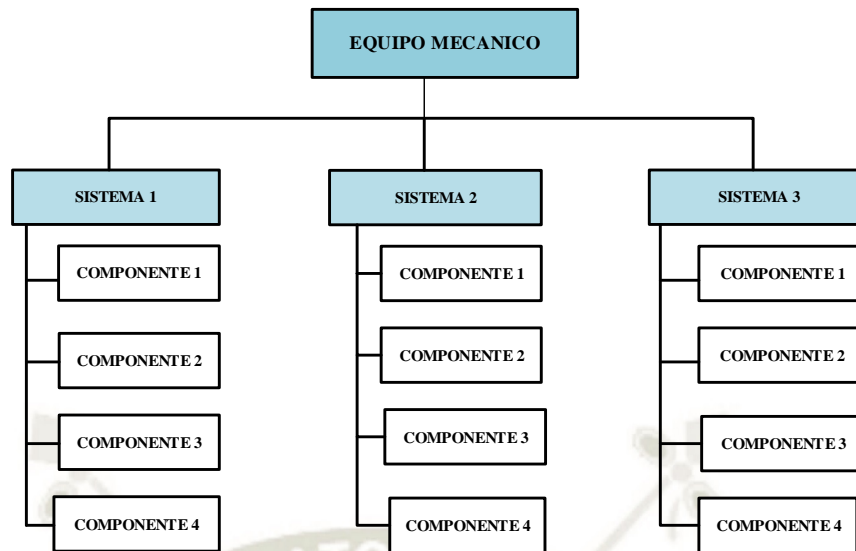


Figura 19: Taxonomía Equipo Mecánico Tres Niveles para Estimación de Vida Útil. Fuente: Elaboración propia

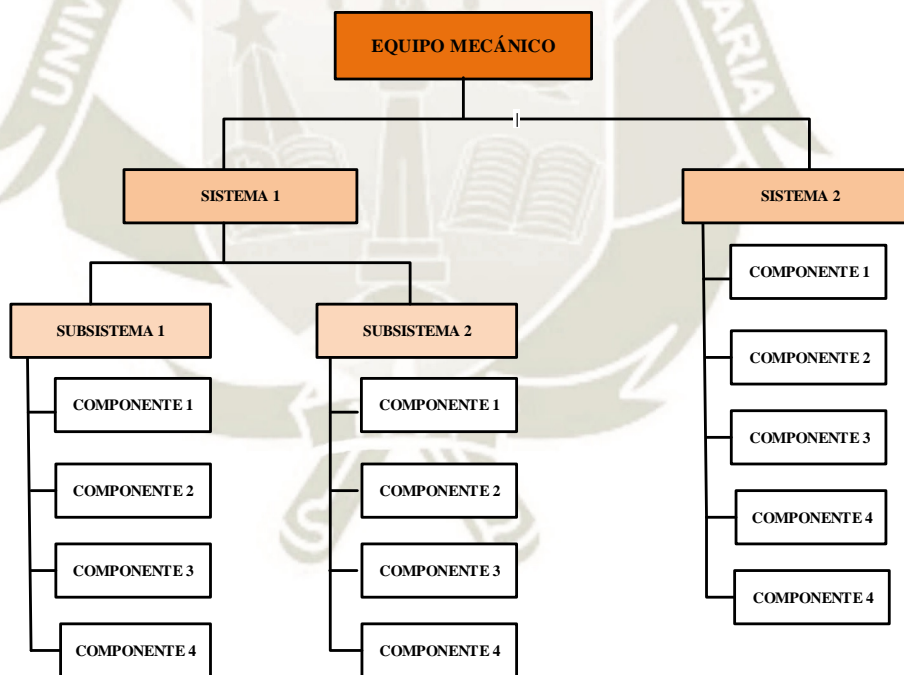


Figura 20: Taxonomía Equipo Mecánico Cuatro Niveles para Estimación de Vida Útil. Fuente: Elaboración propia

FASE III: Modelo Estimación de Vida Útil Equipo Mecánico por Factores Técnicos, Operacionales y Costo de Sistemas

El modelo para estimar la vida útil del equipo mecánico debemos realizar lo siguiente. Primero realizar la jerarquización según norma ISO 14224 del equipo mecánico mostrada en las Figuras 19, 20, segundo estimar la vida útil de los sistemas del equipo mecánico; componente 1, componente 2, componente 3, componente 4 según la siguiente formula.

FORMULA:

$$VUE = VUR \times \text{Factor A} \times \text{Factor B} \times \text{Factor C} \times \text{Factor D} \times \text{Factor E} \times \text{Factor G}$$

Donde:

VUE: Vida útil estimada del componente del equipo mecánico. (Años)

VUR: Vida útil de referencia del componente del equipo mecánico. (Años).

- Factor A: Calidad de material
 - Subfactor A1: Tenacidad
 - Subfactor A2: Esfuerzo de tracción
 - Subfactor A3: Dureza
 - Subfactor A4: Maquinabilidad
- Factor B: Diseño de equipos
 - Subfactor B1: Factor de seguridad
 - Subfactor B2: Funcionamiento
- Factor C: Nivel de mantenimiento
 - Subfactor C1: Confiabilidad
 - Subfactor C2: Mantenibilidad
 - Subfactor C3: Disponibilidad
- Factor D: Tecnología y obsolescencia
 - Subfactor D1: Eficiencia
 - Subfactor D2: Eficacia
 - Subfactor D3: Efectividad
- Factor E: Condiciones ambientales
 - Subfactor E1: Corrosión humedad
 - Subfactor E2: Corrosión seca

- Factor F: Condiciones de operación y obsolescencia
- Factor G: Obsolescencia económica

En la siguiente formula permita calcular la estimación de vida útil de sistema del equipo mecánico

FORMULA:

$$VUE = VUE1 \times NORM. COSTO COMP.1 + VUE2 \times NORM. COSTO COMP.2 + VUE3 \times NORM. COSTO COMP.3 + VUE4 \times NORM. COSTO COMP.4.$$

Donde:

VUE: Vida útil estimada del sistema 1. (Años).

VUE1: Vida útil estimada del componente 1. (Años).

NORM. COSTO COMP.1: Normalizar costo componente 1 respecto al costo del total del sistema 1

VUE2: Vida útil estimada del componente 2. (Años).

NORM. COSTO COMP. 2: Normalizar costo componente 2 respecto al costo del total del sistema 2.

VUE3: Vida útil estimada del componente 3. (Años).

NORM.COSTO COMP. 3: Normalizar costo componente 3 respecto al costo del total del sistema 3.

VUE 4: Vida útil estimada del componente 4. (Años).

NORM. COSTO COMP. 4: Normalizar costo componente 4 respecto al costo del total del sistema 4.

$$NORM. COSTO COMP_i = \frac{COSTO COMPONENTE i}{\sum_1^n COSTO DE COMPONENTES}$$

NORM. COSTO COMP i: Normalizar costo componente i

Luego realizar el modelo propuesto en el siguiente párrafo.

MODELO ESTIMACIÓN VIDA ÚTIL DEL EQUIPO MECÁNICO POR FACTORES TÉCNICOS, OPERACIONALES Y COSTO DE SISTEMAS

El modelo que se formula antes de proceder su cálculo se tiene que tener referencias de datos como es la vida útil estimada de los componentes del sistema, costo de cada

componente para el sistema del equipo mecánico. La propuesta del modelo se toma como referencia Figura 19,20.

FORMULA:

$$VUE = VUE \text{ SISTEMA1} \times NORM. \text{ COSTO SISTEMA1} + VUE \text{ SISTEMA2} \times NORM. \text{ COSTO SISTEMA 2} + VUE \text{ SISTEMA3} \times NORM. \text{ COSTO SISTEMA 3} + VUE \text{ SISTEMA4} \times NORM. \text{ COSTO SISTEMA 4.}$$

Donde:

VUE: Vida útil estimada del equipo mecánico (Años).

VUE SISTEMA 1: Vida útil estimada del sistema 1. (Años).

NORM. SISTEMA 1: Normalizar costo sistema 1 respecto al costo del total de los sistemas.

VUE SISTEMA 2: Vida útil estimada del sistema 2. (Años).

NORM. SISTEMA 2: Normalizar, costo sistema 2 respecto al costo del total de los sistemas.

VUE SISTEMA 3: Vida útil estimada del sistema 3. (Años).

NORM. SISTEMA 3: Normalizar, costo sistema 3 respecto al costo del total de los sistemas.

VUE SISTEMA 4: Vida útil estimada del sistema 4. (Años).

NORM. SISTEMA 4: Normalizar costo sistema 4 respecto al costo del total de los sistemas.

$$NORM. \text{ SISTEMA } i = \frac{\text{COSTO SISTEMA } i}{\sum_1^n \text{ COSTO DE LOS SISTEMAS}}$$

NORM. SISTEMA i: Normalizar sistema i.

FASE IV: Formato Vida Útil Estimada de Equipo Mecánico

La Fase III nos da la fórmula para estimar la vida útil del equipo mecánico, en la Tabla 3 nos muestra la obtención de la vida útil estimada de equipo mecánico por medio de la sumatoria de los productos de la vida útil estimada de cada sistema por la normalización del costo de cada sistema.

Tabla 3: Formato Estimación Vida Útil Equipo Mecánico por Factores Técnicos, Operacionales y Costo de Sistemas

SISTEMA EQUIPO MECÁNICO	VIDA ÚTIL ESTIMADA SISTEMA (VUE) (Años)	COSTO SISTEMA MECÁNICO (US\$)	NORMALIZAR EL COSTO DE CADA SISTEMA	MULTIPLICAR VUE SISTEMA _i X NORM. SISTEMA _i
SISTEMA 1	VUE SISTEMA1	COSTO SISTEMA1	NORM. COSTO SISTEMA 1	VUE SISTEMA1X NORM. COSTO SISTEMA 1
SISTEMA 2	VUE SISTEMA2	COSTO SISTEMA2	NORM. COSTO SISTEMA 2	VUE SISTEMA2X NORM. COSTOSISTEMA2
SISTEMA 3	VUE SISTEMA3	COSTO SISTEMA3	NORM. COSTO SISTEMA 3	VUE SISTEMA3X NORM. COSTO SISTEMA3
SISTEMA 4	VUE SISTEMA4	COSTO SISTEMA4	NORM. COSTO SISTEMA 4	VUE SISTEMA4X NORM. COSTO SISTEMA4
	COSTO TOTAL DE LOS SISTEMAS (US\$)	Σ COSTO SISTEMA _i	VIDA ÚTIL ESTIMADA EQUIPO MECÁNICO (Años)	Σ VUE SISTEMA _i XNORM. COSTO SISTEMA _i

$$\text{VIDA ÚTIL ESTIMADA} = \text{VUE SISTEMA1} \times \text{NORM. COSTO SISTEMA1} + \text{VUE SISTEMA2} \times \text{NORM. COSTO SISTEMA2} + \text{VUE SISTEMA3} \times \text{NORM. COSTO SISTEMA3} + \text{VUE SISTEMA4} \times \text{NORM. COSTO SISTEMA4}$$

Fuente: Elaboración propia

3.6. PROPUESTA METODOLÓGICA ESTIMACIÓN VIDA ÚTIL DE SISTEMAS POR FACTORES TÉCNICOS, OPERACIONALES Y PESO DE COMPONENTES

La propuesta metodológica para estimar la vida útil de sistemas en los equipos mecánicos según las siguientes fases a continuación:

3.6.1. Fases Modelo Estimación de Vida Útil de Sistemas de Equipo Mecánico

FASE I: Identificación del Equipo Mecánico

Identificar el equipo mecánico por medio de su ficha técnica, donde muestre las características técnicas específicas, funciones primarias, funciones secundarias, condiciones del contexto operacional, costo de adquisición, costo de operación, rendimiento del equipo, sistemas y componentes que lo componen. La aplicación en esta fase de la metodología propuesta es donde se identifican las variables de las condiciones generales de servicio, las condiciones económicas respecto a la planeación de su vida útil.

El equipo a evaluar no es un conjunto homogéneo debido a los diferentes sistemas y componentes que lo integran y variaciones de los modelos de los fabricantes, las condiciones ambientales de operación hacen necesario la identificación particular de cada activo para delimitar el estudio.

Identificado el activo físico por su clase y historial documentado respectivo de acuerdo con los modos de falla funcionales definidas, modos de degradación y las estrategias de mantenimiento y el criterio del experto se procede a la siguiente fase.

FASE II: Taxonomía del Equipo Mecánico

Según la Norma ISO 14224 correspondiente debemos realizar al equipo mecánico su jerarquización para poder identificar los tres o cuatro niveles de subdivisión que va desde los componentes, sistemas y el equipo mecánico, como se muestra en las Figuras 21,22.

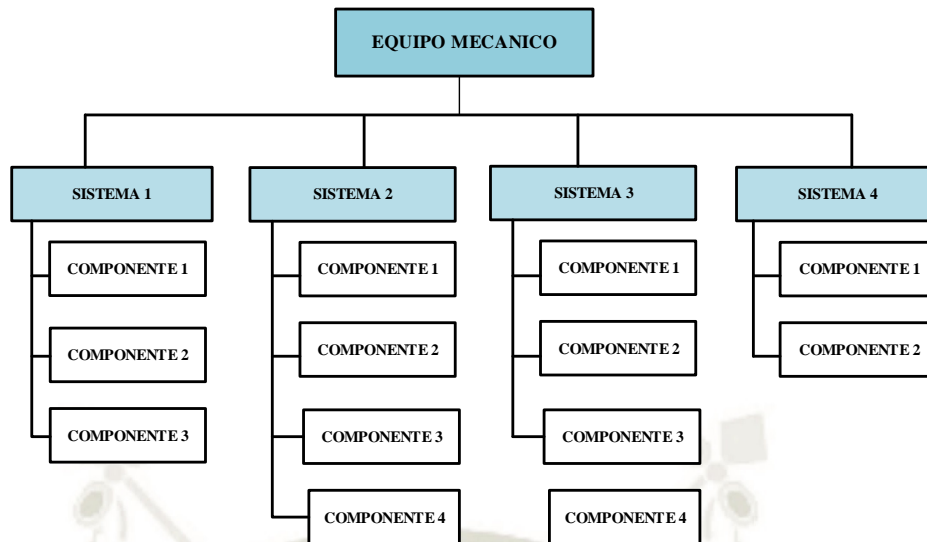


Figura 21: Taxonomía Equipo Mecánico Tres Niveles para Estimación de Vida Útil. Fuente: Elaboración propia

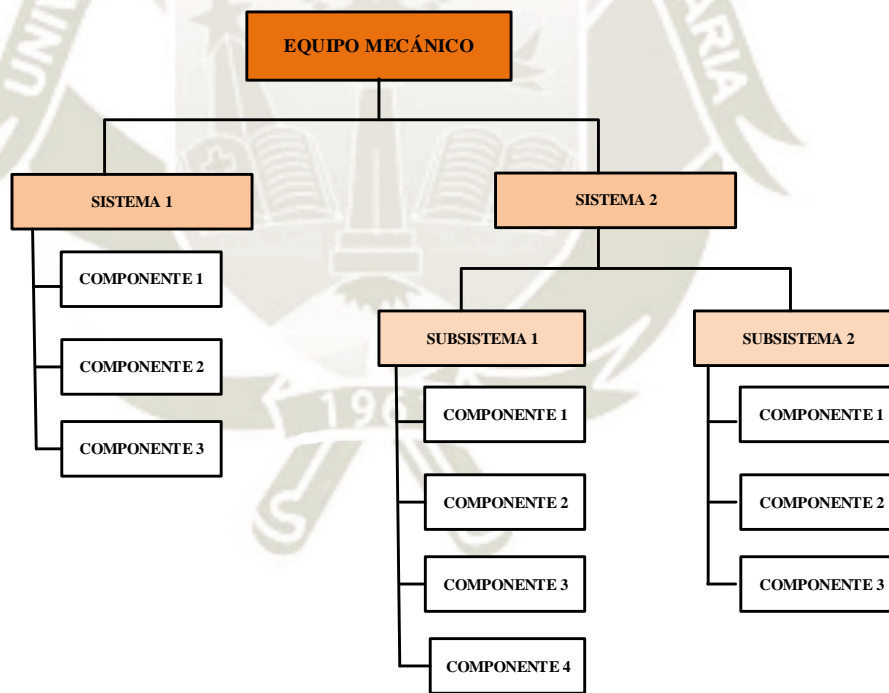


Figura 22: Taxonomía Equipos Mecánico Cuatro Niveles para Estimación de Vida Útil. Fuente: Elaboración propia

FASE III: Modelo Estimación de Vida Útil de Sistemas por Factores Técnicos, Operacionales y Pesos de Componentes

El modelo para estimar la vida útil de los sistemas del equipo mecánico debemos realizar lo siguiente.

Primero realizar la jerarquización según norma ISO 14224 del equipo mecánico mostrada en la Figura 21,22; segundo estimar la vida útil de los componentes del equipo mecánico de los componentes 1, componentes 2, componentes 3, componentes 4 según la siguiente formula.

FORMULA:

$$VUE = VUR \times \text{Factor A} \times \text{Factor B} \times \text{Factor C} \times \text{Factor D} \times \text{Factor E} \times \text{Factor G}$$

Donde:

VUE: Vida útil estimada del componente del equipo mecánico. (Años)

VUR: Vida útil de referencia del componente del equipo mecánico. (Años).

- Factor A: Calidad de material
 - Subfactor A1: Tenacidad
 - Subfactor A2: Esfuerzo de tracción
 - Subfactor A3: Dureza
 - Subfactor A4: Maquinabilidad
- Factor B: Diseño de equipos
 - Subfactor B1: Factor de seguridad
 - Subfactor B2: Funcionamiento
- Factor C: Nivel de mantenimiento
 - Subfactor C1: Confiabilidad
 - Subfactor C2: Mantenibilidad
 - Subfactor C3: Disponibilidad
- Factor D: Tecnología y obsolescencia
 - Subfactor D1: Eficiencia
 - Subfactor D2: Eficacia
 - Subfactor D3: Efectividad
- Factor E: Condiciones ambientales
 - Subfactor E1: Corrosión humedad
 - Subfactor E2: Corrosión seca
- Factor F: Condiciones de operación y obsolescencia

- Factor G: Obsolescencia económica

Luego realizar el modelo propuesto en el siguiente párrafo.

MODELO ESTIMACIÓN DE VIDA ÚTIL DE SISTEMAS POR FACTORES TÉCNICOS, OPERACIONALES Y PESO DE COMPONENTES

El modelo que se formula primero se calcula la vida útil estimada de los componentes para cada sistema, luego obtener los pesos de cada componente por el método proceso jerárquico analítico (PJA).

Los pesos de los componentes se realizan con el Proceso Jerárquico Analítico (PJA) que es una de las herramientas utilizadas para el desarrollo de las decisiones multicriterio, es un método útil para determinar el peso de cada componente de un equipo mecánico.

Estos pesos tienen como significado la importancia que tiene cada componente en el mismo nivel entre sí para el cumplimiento de los objetivos de funcionamiento del equipo mecánico.

El PJA es una herramienta que apoya en la toma de decisiones por medio de la jerarquización de los criterios más importantes al cuantificar el peso de los componentes del equipo mecánico, el desarrollo del método esta propuesto Anexo 3.

FORMULA:

$$VUE = VUE1 \times NORM. PESO COMP1 + VUE2 \times NORM. PESO COMP2 + VUE3 \times NORM. PESO COMP3 + VUE4 \times NORM. PESO COMP4.$$

Donde:

VUE: Vida útil estimada del sistema 1. (Años).

VUE1: Vida útil estimada del componente 1

NORM.PESO COMP1: Normalizar el peso del componente 1 respecto al peso total del sistema 1.

VUE2: Vida útil estimada del componente 2 (Años).

NORM. PESO COMP2: Normalizar el peso del componente 2 respecto al peso total del sistema 2.

VUE3: Vida útil estimada del componente 3. (Años).

NORM.PESO COMP3: Normalizar el peso del componente 3 respecto al peso total del sistema 3.

VUE 4: Vida útil estimada del componente 4. (Años).

NORM.PESO COMP4: Normalizar el peso del componente 4 respecto al peso total del sistema 4

$$\text{NORM PESO COMP}_i = \frac{\text{PESO DEL COMPONENTE } i}{\sum_1^n \text{PESO TOTAL DE LOS COMPONENTES}}$$

NORM PESO COMP i: Normalizar el peso del componente i.

FASE IV: Formato Vida Útil Estimada de Sistemas de Equipo Mecánico

La Fase III nos da la fórmula para estimar la vida útil de cada sistema del equipo mecánico. En la Tabla 4 nos muestra la obtención de la vida útil estimada de cada sistema por medio de la sumatoria de los productos de la vida útil estimada de cada componente por la normalización de los pesos de cada componente.

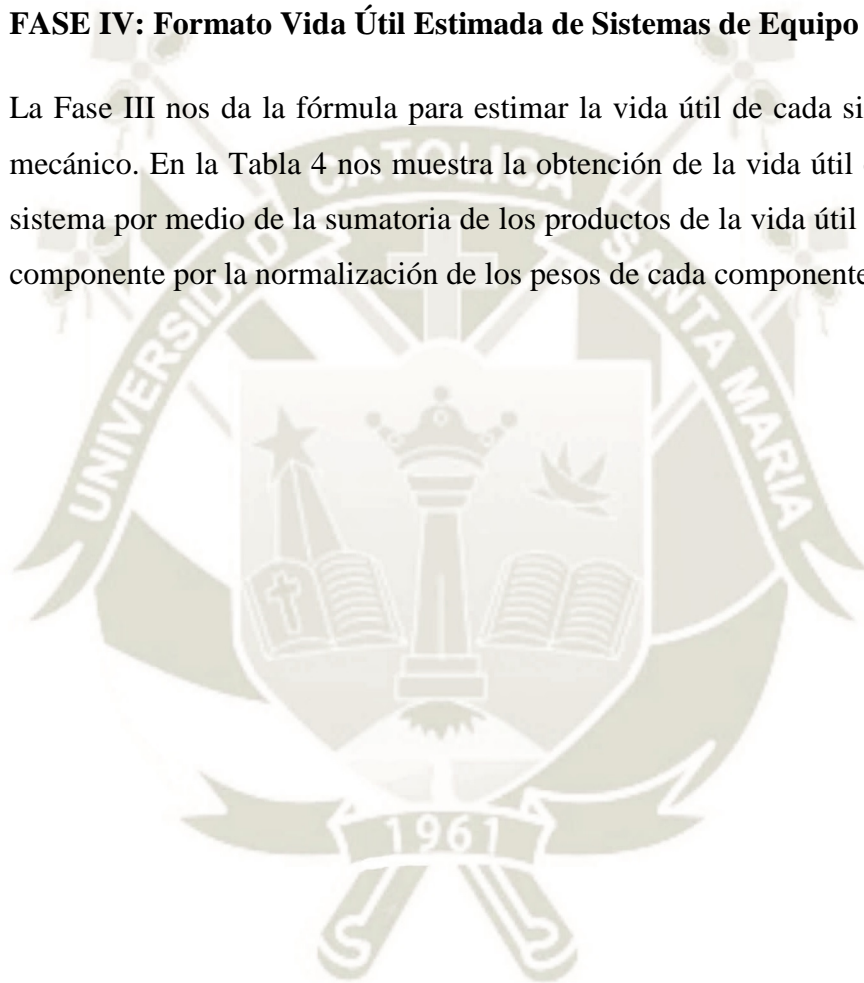


Tabla 4: Formato Estimación Vida Útil de Sistemas por Factores Técnicos, Operacionales y Pesos de Componentes

COMPONENTE MECÁNICO	VIDA UTIL ESTIMADA (VUE) (Años)	PESO DEL COMPONENTE MECÁNICO	NORMALIZAR PESO DE CADA COMPONENTE	MULTIPLICAR VUE COMP <i>i</i> X NORM PESO COMP <i>i</i>
COMPONENTE 1	VUE COMP1	PESO COMP. 1	NORM. PESO COMP. 1	VUE COMP1X NORM. PESO COMP. 1
COMPONENTE 2	VUE COMP2	PESO COMP. 2	NORM. PESO COMP. 2	VUE COMP2X NORM. PESO COMP.2
COMPONENTE 3	VUE COMP3	PESO COMP. 3	NORM. PESO COMP. 3	VUE COMP3X NORM. PESO COMP. 3
COMPONENTE 4	VUE COMP4	PESO COMP. 3	NORM. PESO COMP. 4	VUE COMP4X NORM. PESO COMP. 4
	PESO TOTAL DEL SISTEMA	Σ PESO COMP _{<i>i</i>}	VIDA ÚTIL ESTIMADA DEL SISTEMA (Años)	Σ VUECOMP _{<i>i</i>} X NORM. PESO COMP. <i>i</i>

$$\text{VIDA ÚTIL ESTIMADA} = \text{VUE COMP1} \times \text{NORM. PESO COMP1} + \text{VUE COMP2} \times \text{NORM. PESO COMP2} + \text{VUE COMP3} \times \text{NORM PESO COMP3} + \text{VUE COMP4} \times \text{NORM. PESO COMP4}$$

Fuente: Elaboración propia

3.7. PROPUESTA METODOLÓGICA ESTIMACIÓN VIDA ÚTIL DE EQUIPO MECÁNICO POR FACTORES TÉCNICOS, OPERACIONALES Y PESO DE LOS SISTEMAS

La propuesta metodológica para estimar la vida útil en los equipos mecánicos, según las siguientes fases a continuación:

3.7.1 Fases Modelo Estimación de Vida Útil de Equipo Mecánico

FASE I: Identificación del Equipo Mecánico

Identificar el equipo mecánico por medio de su ficha técnica, donde muestre las características técnicas específicas, funciones primarias, funciones secundarias, condiciones del contexto operacional, costo de adquisición, costo de operación, rendimiento del equipo, sistemas y componentes que lo componen. La aplicación en esta fase de la metodología propuesta es donde se identifican las variables de las condiciones generales de servicio, las condiciones económicas respecto a la planeación de su vida útil.

El equipo a evaluar no es un conjunto homogéneo debido a los diferentes sistemas y componentes que lo integran y variaciones de los modelos de los fabricantes, las condiciones ambientales de operación hacen necesario la identificación particular de cada activo para delimitar el estudio.

Identificado el activo físico por su clase y historial documentado respectivo de acuerdo con los modos de falla funcionales definidas, modos de degradación y las estrategias de mantenimiento y el criterio del experto se procede a la siguiente fase.

FASE II: Taxonomía del Equipo Mecánico

Según la Norma ISO 14224 correspondiente debemos realizar al equipo mecánico su jerarquización para poder identificar los tres o cuatro niveles de subdivisión que va desde los componentes, sistemas y el equipo mecánico. Como se muestra en los Figuras 23,24.

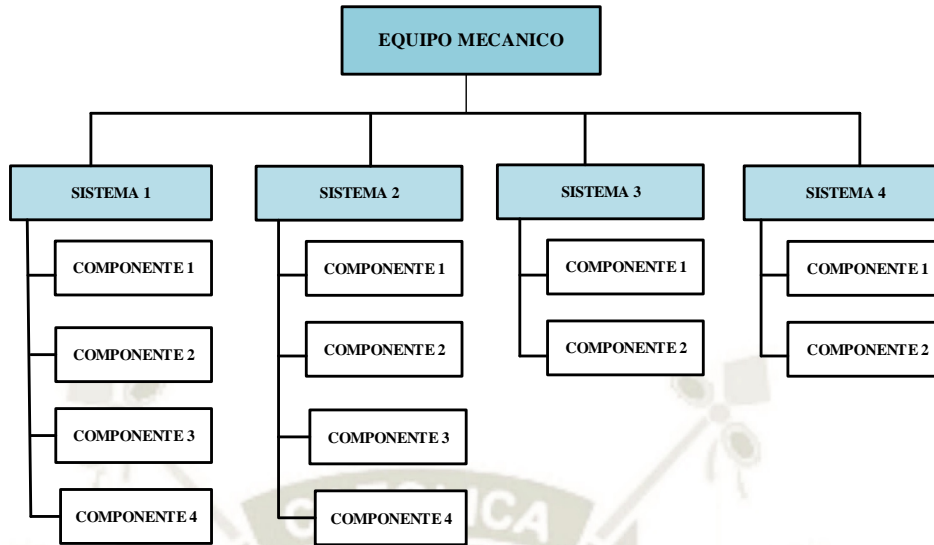


Figura 23: Taxonomía Equipo Mecánico Tres Niveles para Estimación de Vida Útil. Fuente: Elaboración propia

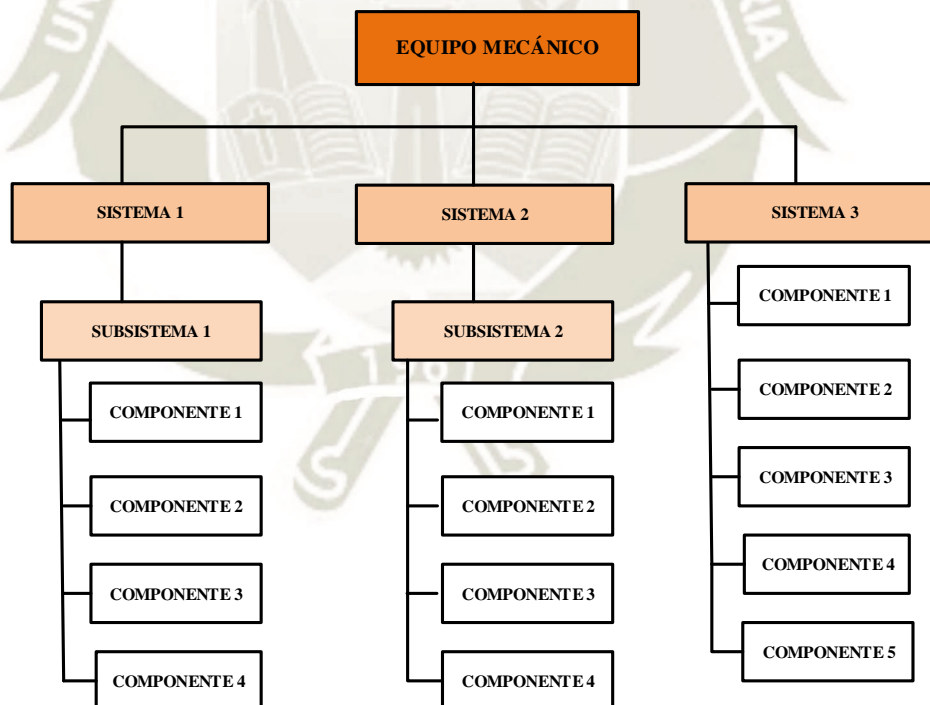


Figura 24: Taxonomía Equipo Mecánico Cuatro Niveles para Estimación de Vida Útil. Fuente: Elaboración propia

FASE III: Modelo Estimación de Vida Útil de Equipo Mecánico por Factores Técnicos, Operacionales y Peso de los Sistemas

El modelo para estimar la vida útil de los equipos mecánicos debemos realizar la siguiente manera.

Primero realizar su jerarquización según norma ISO 14224 del equipo mecánico mostrada en la Figura 23,24; segundo estimar la vida útil de los componentes del equipo mecánico de componente 1, componente 2, componente 3, componente 4; tercero estimar la vida útil de los sistemas del equipo mecánico sistema 1, sistema 2, sistema 3, sistema 4; según la siguiente formula.

FORMULA:

$$VUE = VUR \times \text{Factor A} \times \text{Factor B} \times \text{Factor C} \times \text{Factor D} \times \text{Factor E} \times \text{Factor G}$$

Donde:

VUE: Vida útil estimada del componente del equipo mecánico. (Años)

VUR: Vida útil de referencia del componente del equipo mecánico. (Años).

- Factor A: Calidad de material
 - Subfactor A1: Tenacidad
 - Subfactor A2: Esfuerzo de tracción
 - Subfactor A3: Dureza
 - Subfactor A4: Maquinabilidad
- Factor B: Diseño de equipos
 - Subfactor B1: Factor de seguridad
 - Subfactor B2: Funcionamiento
- Factor C: Nivel de mantenimiento
 - Subfactor C1: Confiabilidad
 - Subfactor C2: Mantenibilidad
 - Subfactor C3: Disponibilidad
- Factor D: Tecnología y obsolescencia
 - Subfactor D1: Eficiencia
 - Subfactor D2: Eficacia
 - Subfactor D3: Efectividad
- Factor E: Condiciones ambientales
 - Subfactor E1: Corrosión humedad

- Subfactor E2: Corrosión seca
- Factor F: Condiciones de operación y obsolescencia
- Factor G: Obsolescencia económica

FORMULA:

$$VUE = VUE COMP1 XNORM. PESO COMP1+ VUE COMP2 XNORM. PESO COMP2+ VUE COMP3 XNORM. PESO COMP3+ VUE COMP4 XNORM. PESO COMP4.$$

Donde:

VUE: Vida útil estimada del sistema 1. (Años).

VUE COMP1: Vida útil estimada del componente 1

NORM.PESO SISTEMA1: Normalizar el peso del componente 1 respecto al peso total del sistema 1.

VUE COMP2: Vida útil estimada del componente 2. (Años).

NORM.PESO SISTEMA2: Normalizar el peso del componente 2 respecto al peso total del sistema 2

VUE COMP3: Vida útil estimada del componente 3. (Años).

NORM.PESO SISTEMA3: Normalizar el peso del componente 3 respecto al peso total del sistema 3.

VUE COMP4: Vida útil estimada del componente 4. (Años).

NORM.PESO SISTEMA4: Normalizar el peso del componente 4 respecto al peso total del sistema 4.

$$NORM PESO COMPi = \frac{PESO DEL SISTEMA i}{\sum_1^n PESO TOTAL DE LOS SISTEMAS}$$

NORM POND.SISTEMA i: Normalizar el peso del sistema i

Luego realizar el modelo propuesto en el siguiente párrafo.

MODELO ESTIMACIÓN DE VIDA ÚTIL EQUIPO MECÁNICO POR FACTORES TÉCNICOS, OPERACIONALES Y PESO DE LOS SISTEMAS

El modelo que se formula antes de proceder su cálculo se tiene que tener referencias de datos como es la vida útil estimada de los sistemas del equipo mecánico, peso de

cada sistema del equipo mecánico. Los pesos y la ponderación de los sistemas se realizan con el Proceso Jerárquico Analítico (PJA) que es una de las herramientas utilizadas para el desarrollo de las decisiones multicriterio, es un método útil para determinar el peso de cada sistema del equipo mecánico.

Estos pesos tienen como significado la importancia que tiene cada sistema en el mismo nivel entre sí para el cumplimiento de los objetivos de funcionamiento del equipo mecánico, el desarrollo del método esta propuesto el Anexo 3.

FORMULA:

$$VUE = VUE \text{ SISTEMA1} \times \text{NORM. PESO SISTEMA1} + VUE \text{ SISTEMA2} \times \text{NORM. PESO SISTEMA2} + VUE \text{ SISTEMA3} \times \text{NORM. PESO SISTEMA3} + VUE \text{ SISTEMA4} \times \text{NORM. PESO SISTEMA4}.$$

Donde:

VUE: Vida útil estimada del equipo mecánico (Años)

VUE SISTEMA1: Vida útil estimada del sistema 1. (Años).

NORM. PESO SISTEMA 1: Normalizar el peso del sistema 1 respecto al peso total de los sistemas.

VUE SISTEMA2: Vida útil estimada del sistema 2. (Años).

NORM. PESO SISTEMA 2: Normalizar el peso del sistema 2 respecto al peso total de los sistemas.

VUE SISTEMA3: Vida útil estimada del sistema 3. (Años).

NORM. PESO SISTEMA 3: Normalizar el peso del sistema 3 respecto al peso total de los sistemas 3.

VUE SISTEMA4: Vida útil estimada del sistema 4. (Años).

NORM. PESO SISTEMA 4: Normalizar el peso del sistema 4 respecto al peso total de los sistemas.

$$\text{NORM. PESO SISTEMA } i = \frac{\text{PESO DEL SISTEMA } i}{\sum_1^n \text{ PESO TOTAL DE LOS SISTEMAS}}$$

NORM. PESO SISTEMA i: Normalizar peso del sistema i.

FASE IV: Formato Vida Útil Estimada del Equipo Mecánico

La Fase III nos da la fórmula para estimar la vida útil del equipo mecánico; en la Tabla 5 nos muestra la obtención de la vida útil estimada del equipo mecánico por medio de la sumatoria de los productos de la vida útil estimada de cada sistema por la normalización del peso de cada sistema.



Tabla 5: Formato Estimación Vida Útil Equipo Mecánico por Factores Técnicos, Operacionales y Peso de los Sistemas

SISTEMA EQUIPO MECÁNICO	VIDA ÚTIL ESTIMADA (VUE) (Años)	PESO DEL SISTEMA MECÁNICO (US\$)	NORMALIZAR PESO DE CADA SISTEMA	MULTIPLICAR VUE ESTIMADA _i X NORM. PESO SISTEMA _i
SISTEMA 1	VUE SISTEMA 1	PESO SISTEMA 1	NORM. PESO SISTEMA 1	VUE SISTEMA 1X NORM. PESO SISTEMA 1
SISTEMA 2	VUE SISTEMA 2	PESO SISTEMA 2	NORM. PESO SISTEMA 2	VUE SISTEMA 1X NORM. PESO SISTEMA 2
SISTEMA 3	VUE SISTEMA 3	PESO SISTEMA 3	NORM. PESO SISTEMA 3	VUE SISTEMA 1X NORM. PESO SISTEMA 3
SISTEMA 4	VUE SISTEMA 4	PESO SISTEMA 4	NORM. PESO SISTEMA 4	VUE SISTEMA 1X NORM. PESO SISTEMA 4
	PESO TOTAL DE DE LOS SISTEMAS	Σ PESO SISTEMA _i	VIDA ÚTIL ESTIMADA DEL EQUIPO MECÁNICO (Años)	Σ VUE SISTEMA _i X NORM. PESO SISTEMA _i

$$\text{VIDA ÚTIL ESTIMADA} = \text{VUE SISTEMA1} \times \text{NORM. PESO SISTEMA1} + \text{VUE SISTEMA2} \times \text{NORM. PESO SISTEMA2} + \text{VUE SISTEMA3} \times \text{NORM. PESO SISTEMA3} + \text{VUE SISTEMA4} \times \text{NORM. PESO SISTEMA4}$$

Fuente: Elaboración propia

CAPTITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Este capítulo se dedica a la exposición de resultados y discusión obtenidos de la investigación cuantitativa. La configuración del mismo ya fue adelantada en el capítulo anterior; iniciamos con cuadros de resumen de las fases de propuestas metodológicas de estimación de vida útil, la primera propuesta es por factores y costo para los componentes, sistemas y equipos mecánicos, la segunda propuesta es estimación de vida útil por factores y peso de los componentes, sistemas y equipos mecánicos. El método de los factores técnicos y operacionales de degradación se logra por sus indicadores o índices basados en la física usando ecuaciones apropiadas o evaluaciones costo efectivo y otros modelos consistentes. Luego planteamos ejemplos para las metodologías propuesta y por último se evalúa el nivel confianza de las metodologías propuesta por modelo de referencia de la International Organization for Standardization. ISO 13381-1, 2015.

4.1. RESULTADOS PROPUESTAS METODLÓGICAS ESTIMACIÓN DE VIDA ÚTIL DE COMPONENTES, SISTEMAS Y EQUIPO MECÁNICO

El presente trabajo de investigación discurre con las siguientes propuestas de metodología para estimación de vida útil de componentes, sistemas y equipos mecánicos que a continuación se nombra:

1. Propuesta metodológica para estimación de vida útil de componentes por factores técnicos y operacionales de equipo mecánico.
2. Propuesta metodológica para estimación de vida útil de sistemas por factores técnicos, operacionales y costo de componentes mecánicos.
3. Propuesta metodológica para estimación de vida útil de equipo mecánico por factores técnicos, operacionales y costo de sistemas mecánicos.
4. Propuesta metodológica para estimación de vida útil de sistemas por factores técnicos, operacionales y peso de componentes mecánicos.
5. Propuesta metodológica para estimación de vida útil de equipos mecánicos por factores técnicos, operacionales y peso de sistemas mecánicos.

4.1.1. Resumen, Criterios y Metodología para Estimación Vida Útil de Componentes, Sistemas y Equipo Mecánico

En este punto se muestra el resumen de cada propuesta metodológica en los Cuadros 5,6,7,8,9 como son las fases de implementación, los criterios que tiene ver con las normas y metodologías y se adscribe al paradigma de investigación cuantitativa mediante técnicas de investigación documental, bibliográfica, así como análisis de valoración respecto al tema

Cuadro 5: Fases Análisis VUE de Componentes por Factores Técnicos y Operacionales para Equipo Mecánico

FASES	CRITERIO	METODOLOGÍA
<p>FASE 1 IDENTIFICACIÓN DEL EQUIPO MECÁNICO</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Especialidad ingeniería mecánica • Especialidad ingeniería mecánica-eléctrica • Especialidad ingeniería mecatrónica 	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis técnico • Análisis funcional • Análisis formal
<p>FASE 2 TAXONOMÍA DEL EQUIPO MECÁNICO</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Normas ISO 14224 • Otras Normas de jerarquización 	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis técnico • Análisis funcional • Análisis formal
<p>FASE 3 MODELO ESTIMACIÓN DE VIDA ÚTIL DE COMPONENTES POR FACTORES TÉCNICOS Y OPERACIONALES DEL EQUIPO MECÁNICO</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Método de los factores técnicos y operacionales • Norma ISO 15686. • Nivel de confianza. 	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis del Método Factorial • $VUE = VUR \times \text{Factor A} \times \text{Factor B} \times \text{Factor C} \times \text{Factor D} \times \text{Factor E} \times \text{Factor F} \times \text{Factor G}$.
<p>FASE 4 FORMATO DE OBTENCIÓN DE ESTIMACIÓN DE VIDA DE COMPONENTES DEL EQUIPO MECÁNICO</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Unidimensionalidad de los instrumentos de evaluación. • Validez convergente entre métodos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis de los factores técnicos y operacionales. • Análisis de subfactores técnicos y operacionales • Estimación de las correlaciones de los indicadores o índices.

Cuadro 6: Fases Análisis VUE de Sistemas por Factores Técnicos, Operacionales y Costo de Componentes Equipo Mecánico

FASES	CRITERIO	METODOLOGÍA
<p>FASE 1 IDENTIFICACIÓN DEL EQUIPO MECÁNICO</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Especialidad ingeniería mecánica • Especialidad ingeniería mecánica-eléctrica • Especialidad ingeniería mecatrónica 	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis técnico • Análisis funcional • Análisis formal
<p>FASE 2 TAXONOMÍA DEL EQUIPO MECÁNICO</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Normas ISO 14224 • Otras Normas de jerarquización 	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis técnico • Análisis funcional • Análisis formal
<p>FASE 3 MODELO ESTIMACIÓN DE VIDA ÚTIL DE SISTEMAS POR FACTORES TÉCNICOS, OPERACIONALES Y COSTO DE LOS COMPONENTES DEL EQUIPO MECÁNICO</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Método de los factores técnicos y operacionales • Norma ISO 15686 • Metodo de valorización • Nivel de confianza. 	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis del Método Factorial • $VUE = VUR \times \text{Factor A} \times \text{Factor B} \times \text{Factor C} \times \text{Factor D} \times \text{Factor E} \times \text{Factor F} \times \text{Factor G}$. • Análisis de normalización del costeo de los componentes
<p>FASE 4 FORMATO DE ESTIMACIÓN VIDA UTIL DE LOS SISTEMAS DE EQUIPO MECÁNICO</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Unidimensionalidad de los instrumentos de evaluación. • Validez convergente entre métodos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis de los factores técnicos y operacionales. • Análisis de subfactores técnicos y operacionales • Estimación de las correlaciones de los indicadores o índices.

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 7: Fases Análisis VUE Equipo Mecánico por Factores Técnicos, Operacionales y Costo de los Sistemas

FASES	CRITERIO	METODOLOGÍA
<p>FASE 1 IDENTIFICACIÓN DEL EQUIPO MECÁNICO</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Especialidad ingeniería mecánica • Especialidad ingeniería mecánica-eléctrica • Especialidad ingeniería mecatrónica 	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis técnico • Análisis funcional • Análisis formal
<p>FASE 2 TAXONOMÍA DEL EQUIPO MECÁNICO</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Normas ISO 14224 • Otras Normas de jerarquización 	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis técnico • Análisis funcional • Análisis formal
<p>FASE 3 MODELO ESTIMACIÓN DE VIDA ÚTIL DEL EQUIPO MECÁNICO POR FACTORES TÉCNICOS, OPERACIONALES Y COSTO DE LOS SISTEMAS</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Método de los factores técnicos y operacionales • Norma ISO 15686 • Método de valorización • Nivel de confianza. 	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis del Método Factorial • $VUE = VUR \times \text{Factor A} \times \text{Factor B} \times \text{Factor C} \times \text{Factor D} \times \text{Factor E} \times \text{Factor F} \times \text{Factor G}$. • Análisis estimación de vida útil de componentes. • Análisis estimación de vida útil de sistemas. • Análisis de normalización del costeo de los sistemas.
<p>FASE 4 FORMATO DE ESTIMACIÓN VIDA ÚTIL ESTIMADA DEL EQUIPO MECÁNICO</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Unidimensionalidad de los instrumentos de evaluación. • Validez convergente entre métodos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis de los factores técnicos y operacionales. • Análisis de subfactores técnicos y operacionales • Estimación de las correlaciones de los indicadores o índices.

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 8: Fases del Análisis VUE de Sistemas por Factores Técnicos, Operacionales y Peso de Componentes del Equipo Mecánico

FASES	CRITERIO	METODOLOGÍA
<p>FASE 1 IDENTIFICACIÓN DEL EQUIPO MECÁNICO</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Especialidad ingeniería mecánica • Especialidad ingeniería mecánica-eléctrica • Especialidad ingeniería mecatrónica 	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis técnico • Análisis funcional • Análisis formal
<p>FASE 2 TAXONOMÍA DEL EQUIPO MECÁNICO</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Normas ISO 14224 • Otras Normas de jerarquización 	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis técnico • Análisis funcional • Análisis formal
<p>FASE 3 MODELO ESTIMACIÓN DE VIDA ÚTIL SISTEMAS POR FACTORES TÉCNICOS, OPERACIONALES Y PESO DE COMPONENTES DEL EQUIPO MECÁNICO</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Método de los factores técnicos y operacionales • Norma ISO 15686 • Metodo de valorización • Nivel de confianza. 	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis del Método Factorial • $VUE = VUR \times \text{Factor A} \times \text{Factor B} \times \text{Factor C} \times \text{Factor D} \times \text{Factor E} \times \text{Factor F} \times \text{Factor G}$. • Análisis de normalización de la ponderación de los componentes
<p>FASE 4 FORMATO DE ESTIMACIÓN VIDA UTIL DE SISTEMAS DEL EQUIPO MECÁNICO</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Unidimensionalidad de los instrumentos de evaluación. • Validez convergente entre métodos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis de los factores técnicos y operacionales. • Análisis de subfactores técnicos y operacionales • Estimación de las correlaciones de los indicadores o índices.

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 9: Fases del Análisis VUE de Equipo Mecánico por Factores Técnicos, Operacionales y Peso de los Sistemas del Equipo Mecánico

FASES	CRITERIO	METODOLOGÍA
FASE 1 IDENTIFICACIÓN DEL EQUIPO MECÁNICO	<ul style="list-style-type: none"> • Especialidad ingeniería mecánica • Especialidad ingeniería mecánica-eléctrica • Especialidad ingeniería mecatrónica 	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis técnico • Análisis funcional • Análisis formal
FASE 2 TAXONOMÍA DEL EQUIPO MECÁNICO	<ul style="list-style-type: none"> • Normas ISO 14224 • Otras Normas de jerarquización 	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis técnico • Análisis funcional • Análisis formal
FASE 3 MODELO ESTIMACIÓN DE VIDA ÚTIL DEL EQUIPO MECANICO POR FACTORES TÉCNICOS, OPERACIONALES Y PESO DE LOS SISTEMAS	<ul style="list-style-type: none"> • Método de los factores técnicos y operacionales • Norma ISO 15686 • Metodo de valorización • Nivel de confianza. 	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis del Método Factorial • $VUE = VUR \times \text{Factor A} \times \text{Factor B} \times \text{Factor C} \times \text{Factor D} \times \text{Factor E} \times \text{Factor F} \times \text{Factor G}$. • Análisis estimación de vida útil de componentes. • Análisis estimación de vida útil de sistemas. • Análisis de normalización de la ponderación de los sistemas.
FASE 4 FORMATO DE ESTIMACION VIDA ÚTIL ESTIMADA DEL EQUIPO MECÁNICO	<ul style="list-style-type: none"> • Unidimensionalidad de los instrumentos de evaluación. • Validez convergente entre métodos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis de los factores técnicos y operacionales. • Análisis de subfactores técnicos y operacionales • Estimación de las correlaciones de los indicadores o índices.

Fuente: Elaboración propia

4.2. RESULTADO FICHA OPERATIVA ESTIMACIÓN DE VIDA ÚTIL DE COMPONENTES DE EQUIPO MECÁNICO

El usuario del método deberá completar una ficha indicando las características del componente del equipo mecánico y debe contar con los requisitos siguientes:

- Identificación del equipo mecánico;
- Descripción del equipo mecánico;
- Condiciones de funcionamiento del equipo mecánico en el momento de la medición;
- El diagnóstico que incluye todos los modos de falla identificados;
- El modelo de pronóstico de estimación de vida útil.

El resultado de vida útil estimada se obtendrá al aplicar el método propuesto, una vez puesto el valor de cada factor con sus subfactores; el resultado será de multiplicar la vida útil de referencia por los valores correspondientes de cada factor, obteniéndose el resultado de forma automática en la herramienta en formato Excel.

Tabla 6: Ficha Operativa VUE de Componentes por Factores Técnicos y Operacionales de Equipo Mecánico

NOMBRE DEL EQUIPO MECÁNICO: COMPONENTE DEL EQUIPO MECÁNICO:				VIDA ÚTIL DE REFERENCIA DEL COMPONENTE Años		
FACTOR	CATEGORIA DEL FACTOR	SUBFACTOR	CATEGORIA DEL SUBFACTOR	INDICADOR/ÍNDICE	VALOR SUBFACTOR	VALOR FACTOR
FACTOR A	CALIDAD DE MATERIAL	A1	TENACIDAD	COEFICIENTE DE TENACIDAD		
		A2	ESFUERZO DE TRACCIÓN	COEFICIENTE DE ESFUERZO		
		A3	DUREZA	COEFICIENTE DE DUREZA BRINELL		
		A4	MAQUINABILIDAD	INDICE DE MAQUINABILIDAD		
FACTOR B	DISEÑO DE EQUIPOS	B1	FACTOR SEGURIDAD	INDICE FACTOR DE SEGURIDAD		
		B2	FUNCIONAMIENTO	INDICE DE CALIDAD		
FACTOR C	NIVEL DE MANTENIMIENTO	C1	CONFIABILIDAD	CONFIABILIDAD		
		C2	MANTENIBILIDAD	MANTENIBILIDAD		
		C3	DISPONIBILIDAD	DISPONIBILIDAD		
FACTOR D	TECNOLOGIA Y OBSOLESCENCIA	D1	EFICIENCIA	INDICE EFICIENCIA		
		D2	EFICACIA	INDICE EFICACIA		
		D3	EFFECTIVIDAD	EFFECTIVIDAD		
FACTOR E	CONDICIONES AMBIENTALES	E1	CORROSIÓN HUMEDAD	COEFICIENTE DE ESPESORES		
		E2	CORROSIÓN SECA	COEFICIENTE DE ESPESORES		
FACTOR F	CONDICIONES DE OPERACIÓN Y OBSOLESCENCIA	F1	POR USO	RELACIÓN DE USO		
FACTOR G	OBSOLESCENCIA ECONÓMICA	G1	RENDIMIENTO DIFERENCIADO COMPARADO	ROI		
VIDA ÚTIL ESTIMADA = VIDA ÚTIL DE REFERENCIA x Factor A x Factor B x Factor C x Factor D x Factor E x Factor E x Factor G						

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7: Ejemplo Ficha Técnica VUE de Componentes por Factores Técnicos, Operacionales de Equipo Mecánico

NOMBRE DEL EQUIPO MECÁNICO: ELECTROBOMBA COMPONENTE DEL EQUIPO MECÁNICO: RODETE				VIDA ÚTIL DE REFERENCIA DEL COMPONENTE (Años)		10
FACTOR	CATEGORÍA DEL FACTOR	SUBFACTOR	CATEGORÍA DEL SUBFACTOR	INDICADOR/ÍNDICE	VALOR SUBFACTOR	VALOR FACTOR
FACTOR A	CALIDAD DE MATERIAL	A1	TENACIDAD	COEFICIENTE DE TENACIDAD	1.00	0.97
		A2	ESFUERZO DE TRACCIÓN	COEFICIENTE DE ESFUERZO	1.00	
		A3	DUREZA	COEFICIENTE DE DUREZA BRINELL	1.00	
		A4	MAQUINABILIDAD	ÍNDICE DE MAQUINABILIDAD	0.89	
FACTOR B	DISEÑO DE EQUIPOS	B1	FACTOR SEGURIDAD	ÍNDICE FACTOR DE SEGURIDAD	1.00	1.00
		B2	FUNCIONAMIENTO	ÍNDICE DE CALIDAD	1.00	
FACTOR C	NIVEL DE MANTENIMIENTO	C1	CONFIABILIDAD	CONFIABILIDAD	0.85	0.95
		C2	MANTENIBILIDAD	MANTENIBILIDAD	1.00	
		C3	DISPONIBILIDAD	DISPONIBILIDAD	1.00	
FACTOR D	TECNOLOGÍA Y OBSOLESCENCIA	D1	EFICIENCIA	ÍNDICE EFICIENCIA	0.88	0.94
		D2	EFICACIA	ÍNDICE EFICACIA	0.95	
		D3	EFFECTIVIDAD	EFFECTIVIDAD	1.00	
FACTOR E	CONDICIONES AMBIENTALES	E1	CORROSIÓN HUMEDAD	COEFICIENTE DE ESPESORES	0.98	0.99
		E2	CORROSIÓN SECA	COEFICIENTE DE ESPESORES	1.00	
FACTOR F	CONDICIONES DE OPERACIÓN Y OBSOLESCENCIA	F1	POR USO	RELACIÓN DE USO	0.89	0.89
FACTOR G	OBSOLESCENCIA ECONÓMICA	G1	RENDIMIENTO DIFERENCIADO COMPARADO	ROI	1.00	1.00
VIDA ÚTIL ESTIMADA = VIDA ÚTIL DE REFERENCIA x Factor A x Factor B x Factor C x Factor D x Factor E x Factor E x Factor G						7.68

Fuente: Elaboración propia

4.3. RESULTADOS FICHA OPERATIVA ESTIMACIÓN DE VIDA ÚTIL DE SISTEMAS POR COSTO DE COMPONENTES

El usuario del método propuesto deberá completar una ficha indicando las características de los sistemas del equipo mecánico que se está evaluando y obtendrá un valor estimado de la vida útil del mismo, deberá contar con los mínimos requisitos siguientes:

- a. Identificación del equipo mecánico;
- b. Descripción del equipo mecánico;
- c. Condiciones de funcionamiento del equipo mecánico en el momento de la medición;
- d. Una lista disponible, de todos los puntos de medición, parámetros e instrumentos de medición utilizados durante el proceso de pronóstico;
- e. El diagnóstico que incluye todos los modos de falla identificados;
- f. El modelo de pronóstico de estimación de vida útil. (Moubray, 2004)

El resultado de vida útil estimada se obtendrá al aplicar el método propuesto, de multiplicar la vida útil estimada de cada componente y su normalización por costo de cada componente y obteniéndose el resultado de forma automática en la herramienta en formato Excel.

A continuación, se exponen la ficha operativa del ejemplo del método propuesto tal como se visualizan en la herramienta aportada en formato Excel.

Tabla 8: Ficha Operativa VUE para Sistemas por Factores Técnicos, Operacionales y Costo de Componentes

EQUIPO MECANICO	SISTEMA	COMPONENTE	VIDA ÚTIL ESTIMADA COMPONENTE (VUE) AÑOS	COSTO DEL SISTEMA (US\$)	COSTO DEL COMPONENTE (US\$)	NORMALIZAR COSTO POR COMPONENTE	MULTIPLICAR VUE COMP. XNORM. COMPi	VIDA ÚTIL ESTIMADA SISTEMA MECÁNICO (VUE) (Años)
NOMBRE EQUIPO ELECTROMECHANICO ELECTROBOMBA	BOMBA CENTRIFUGA	CARCAZA						
		RODETE						
		EJE						
		CHUMACERAS						
		EMPAQUES						
	MOTOR ELÉCTRICO	ARMADURA						
		ROTOR						
		ESTATOR						
		EJE						
		RODAMIENTOS						
	TABLERO ELÉCTRICO	GABINETE						
		CONTACTORES						
		RELAY TÉRMICO						
TERMONAGNETICAS								

$$VUE = VUE COMP1 \times NORM. COMP1 + VUE COMP2 \times NORM. COMP2 + VUE COMP3 \times NORM. COMP3 + VUE COMP4 \times NORM. COMP4 + VUE COMP5 \times NORM. COMP5$$

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9: Ejemplo Ficha Técnica VUE para Sistemas por Factores Técnicos, Operacionales y Costo de Componentes

EQUIPO MECÁNICO	SISTEMA	COMPONENTE	VIDA ÚTIL ESTIMADA COMPONENTE (VUE) AÑOS	COSTO DEL SISTEMA (US\$)	COSTO DEL COMPONENTE (US\$)	NORMALIZAR COSTO POR COMPONENTE	MULTIPLICAR VUE COMP. XNORMi. COMPi	VIDA ÚTIL ESTIMADA SISTEMA MECÁNICO (VUE) (Años)
NOMBRE EQUIPO ELECTROMECHANICO ELECTROBOMBA	BOMBA CENTRIFUGA	CARCAZA	20	25 000.00	12 000.00	0.48	9.60	13.20
		RODETE	10		5 500.00	0.22	2.20	
		EJE	10		2 500.00	0.10	1.00	
		CHUMACERAS	5		3 000.00	0.08	0.40	
		EMPAQUES	5		2 000.00	0.12	0.60	
	MOTOR ELÉCTRICO	ARMADURA	20	15 000.00	2250.00	0.15	3.00	13.65
		ROTOR	15		5250.00	0.35	5.25	
		ESTATOR	15		4200.00	0.28	4.20	
		EJE	10		1800.00	0.12	1.20	
		RODAMIENTOS	5		1500.00	0.1	0.50	
	TABLERO ELÉCTRICO	GABINETE	20	3 500.00	420.00	0.12	2.40	13.20
		CONTACTORES	10		1225.00	0.35	3.50	
		RELAY TÉRMICO	8		875.00	0.25	2.00	
		TERMONAGNETICAS	8		980.00	0.28	2.24	

$$VUE = VUE\ COMP1 \times NORM.\ COMP1 + VUE\ COMP2 \times NORM.\ COMP2 + VUE\ COMP3 \times NORM.\ COMP3 + VUE\ COMP4 \times NORM.\ COMP4 + VUE\ COMP5 \times NORM.\ COMP5$$

Fuente: Elaboración propia

4.4. RESULTADOS FICHA OPERATIVA ESTIMACIÓN DE VIDA ÚTIL DE EQUIPO MECÁNICO POR COSTO DE SISTEMAS

El usuario del método propuesto deberá completar una ficha indicando las características del equipo mecánico que se está evaluando y obtendrá un valor estimado de la vida útil del mismo y debe contar con los siguientes requisitos:

- a. Identificación del equipo mecánico;
- b. Descripción del equipo mecánico;
- c. Condiciones de funcionamiento del equipo mecánico en el momento de la medición;
- d. Una lista disponible, de todos los puntos de medición, parámetros e instrumentos de medición utilizados durante el proceso de pronóstico;
- e. El diagnóstico que incluye todos los modos de falla identificados;
- f. El modelo de pronóstico de estimación de vida útil. (Moubray, 2004)

El resultado de vida útil estimada se obtendrá al aplicar el método propuesto, de multiplicar la vida útil estimada de cada sistema y su normalización por costo de cada sistema y obteniéndose el resultado de forma automática en la herramienta en formato Excel.

A continuación, se exponen la ficha operativa del ejemplo del método propuesto tal como se visualizan en la herramienta aportada en formato Excel.



Tabla 10: Ficha Operativa VUE para Equipo Mecánico por Factores Técnicos, Operacionales y Costeo de Sistemas

EQUIPO MECÁNICO	SISTEMA	COMPONENTE	VIDA ÚTIL ESTIMADA COMPONENTE (VUE) (Años)	COSTO DEL SISTEMA (US\$)	NORMALIZAR COSTO POR SISTEMA	MULTIPLICAR VUE SISTEMA. XNORMi. SISTEMAi	VIDA ÚTIL ESTIMADA DE SISTEMA (VUE) (Años)	VIDA ÚTIL ESTIMADA DEL EQUIPO MECÁNICO (VUE) (Años)	
NOMBRE EQUIPO ELECTROMECHANICO ELECTROBOMBA	BOMBA CENTRIFUGA	CARCAZA							
		RODETE							
		EJE							
		CHUMACERAS							
		EMPAQUES							
	MOTOR ELÉCTRICO	ARMADURA							
		ROTOR							
		ESTATOR							
		EJE							
		RODAMIENTOS							
	TABLERO ELÉCTRICO	GABINETE							
		CONTACTORES							
		RELAY TÉRMICO							
		TERMONAGNETICAS							

$$VUE = VUE \text{ SISTEMA1} \times \text{NORM. SISTEMA1} + VUE \text{ SISTEMA2} \times \text{NORM. SISTEMA2} + VUE \text{ SISTEMA3} \times \text{NORM. SISTEMA 3} + VUE \text{ SISTEMA4} \times \text{NORM. SISTEMA 4}$$

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11: Ejemplo Ficha Técnica VUE para Equipo Mecánico por Factores Técnicos, Operacionales y Costo de Sistemas

EQUIPO MECÁNICO	SISTEMA	COMPONENTE	VIDA ÚTIL ESTIMADA COMPONENTE (VUE) (Años)	COSTO DEL SISTEMA (US\$)	NORMALIZAR COSTO POR SISTEMA	MULTIPLICAR VUE SISTEMA. XNORM. SISTEMAI	VIDA ÚTIL ESTIMADA DE SISTEMA (VUE) (Años)	VIDA ÚTIL ESTIMADA DEL EQUIPO MECANICO (VUE) (Años)
NOMBRE EQUIPO ELECTROMECHANICO ELECTROBOMBA	BOMBA CENTRIFUGA	CARCAZA	20	25 000.00	0.57	7.59	13.20	13.36
		RODETE	10					
		EJE	10					
		CHUMACERAS	5					
		EMPAQUES	5					
	MOTOR ELÉCTRICO	ARMADURA	20	15 000.00	0.34	4.71	13.65	
		ROTOR	15					
		ESTATOR	15					
		EJE	10					
		RODAMIENTOS	5					
	TABLERO ELÉCTRICO	GABINETE	20	3 500.00	0.08	1.06	13.20	
		CONTACTORES	10					
		RELAY TÉRMICO	8					
		TERMONAGNETICAS	8					

$$VUE = VUE SISTEMA1XNORM. SISTEMA1 +VUE SISTEMA2XNORM. SISTEMA2 +VUE SISTEMA3XNORM. SISTEMA 3$$

Fuente: Elaboración propia

4.5. RESULTADOS FICHA OPERATIVA ESTIMACIÓN DE VIDA ÚTIL DE SISTEMAS POR PESO DE LOS COMPONENTES

El usuario del método propuesto deberá completar una ficha indicando las características de los sistemas del equipo mecánico que se está evaluando y obtendrá un valor estimado de la vida útil del mismo y se debe contar con los siguientes requisitos:

- a. Identificación del equipo mecánico;
- b. Descripción del equipo mecánico;
- c. Condiciones de funcionamiento del equipo mecánico en el momento de la medición;
- d. Una lista disponible, de todos los puntos de medición, parámetros e instrumentos de medición utilizados durante el proceso de pronóstico;
- e. El diagnóstico que incluye todos los modos de falla identificados;
- f. El modelo de pronóstico de estimación de vida útil.

El resultado de vida útil estimada se obtendrá al aplicar el método propuesto, de multiplicar la vida útil estimada de cada componente y su normalización por el peso de cada componente y obteniéndose el resultado de forma automática en la herramienta en formato Excel.

A continuación, se exponen la ficha operativa del ejemplo del método propuesto tal como se visualizan en la herramienta aportada en formato Excel.

Tabla 12: Ficha Operativa VUE para Sistemas por Factores Técnicos, Operacionales y Peso de Componentes

EQUIPO MECÁNICO	SISTEMA	COMPONENTE	VIDA ÚTIL ESTIMADA COMPONENTE (VUE) (Años)	PESO DEL SISTEMA	PESO DEL COMPONENTE	NORMALIZAR PESO POR COMP.	MULTIPLICAR VUE COMP. XNORMi. COMPi	VIDA ÚTIL ESTIMADA SISTEMA MECÁNICO (VUE) (Años)	
NOMBRE EQUIPO ELECTROMECHANICO ELECTROBOMBA	BOMBA CENTRIFUGA	CARCAZA							
		RODETE							
		EJE							
		CHUMACERAS							
		EMPAQUES							
	MOTOR ELÉCTRICO	ARMADURA							
		ROTOR							
		ESTATOR							
		EJE							
		RODAMIENTOS							
	TABLERO ELÉCTRICO	GABINETE							
		CONTACTORES							
		RELAY TÉRMICO							
		TERMONAGNETICAS							

$$VUE = VUE\ COMP1 \times NORM.\ COMP1 + VUE\ COMP2 \times NORM.\ COMP2 + VUE\ COMP3 \times NORM.\ COMP3 + VUE\ COMP4 \times NORM.\ COMP4 + VUE\ COMP5 \times NORM.\ COMP5$$

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13: Ejemplo Ficha Técnica VUE para Sistemas por Factores Técnicos, Operacionales y Peso de Componentes

EQUIPO MECÁNICO	SISTEMA	COMPONENTE	VIDA ÚTIL ESTIMADA COMPONENTE (VUE) (Años)	PESO DEL SISTEMA	PESO DEL COMPONENTE	NORMALIZAR PESO POR COMP.	MULTIPLICAR VUE COMP. XNORM. COMP1	VIDA ÚTIL ESTIMADA SISTEMA MECÁNICO (VUE) (Años)
NOMBRE EQUIPO ELECTROMECHANICO ELECTROBOMBA	BOMBA CENTRIFUGA	CARCAZA	20	152.14	33.02	0.22	4.40	10.35
		RODETE	10		45.44	0.30	3.00	
		EJE	10		34.02	0.22	2.20	
		CHUMACERAS	5		22.30	0.15	0.75	
		EMPAQUES	5		11.45	0.11	0.55	
	MOTOR ELÉCTRICO	ARMADURA	20	150.19	25.45	0.17	3.40	13.55
		ROTOR	15		42.46	0.29	4.35	
		ESTATOR	15		38.96	0.26	3.90	
		EJE	10		29.17	0.19	1.90	
		RODAMIENTOS	5		13.22	0.09	0.45	
	TABLERO ELÉCTRICO	GABINETE	20	77.48	9.13	0.12	2.40	13.20
		CONTACTORES	10		31.58	0.41	4.10	
		RELAY TÉRMICO	8		18.27	0.24	1.92	
		TERMONAGNETICAS	8		18.49	0.24	1.92	

$$\text{VUE} = \text{VUE COMP1XNORM. COMP1} + \text{VUE COMP2XNORM. COMP2} + \text{VUE COMP3XNORM. COMP3} + \text{VUE COMP4XNORM. COMP4} + \text{VUE COMP5XNORM. COMP5}$$

Fuente: Elaboración propia

4.6. RESULTADOS FICHA OPERATIVA ESTIMACIÓN DE VIDA ÚTIL DE EQUIPO MECÁNICO POR PESO DE LOS SISTEMAS

El usuario del método propuesto deberá completar una ficha indicando las características de los sistemas del equipo mecánico que se está estudiando y obtendrá un valor estimado de la vida útil del mismo y debe contar con los mínimos requisitos siguientes:

- a. Identificación del equipo mecánico;
- b. Descripción del equipo mecánico;
- c. Condiciones de funcionamiento del equipo mecánico en el momento de la medición;
- d. Una lista disponible, de todos los puntos de medición, parámetros e instrumentos de medición utilizados durante el proceso de pronóstico;
- e. El diagnóstico que incluye todos los modos de falla identificados;
- f. El modelo de pronóstico de estimación de vida útil.

El resultado de vida útil estimada se obtendrá al aplicar el método propuesto de multiplicar la vida útil estimada de cada sistema y su normalización por peso de cada sistema y obteniéndose el resultado de forma automática en la herramienta en formato Excel.

A continuación, se exponen la ficha operativa del ejemplo del método propuesto tal como se visualizan en la herramienta aportada en formato Excel.

Tabla 14: Ficha Operativa VUE para Equipo Mecánico por Factores Técnicos, Operacionales y Peso de los Sistemas

EQUIPO MECÁNICO	SISTEMA	COMPONENTE	VIDA ÚTIL ESTIMADA COMPONENTE (VUE) (Años)	PESO DEL SISTEMA	NORMALIZAR PESO DEL SISTEMA	MULTIPLICAR VUE SISTEMA. $XNORM_i$ SISTEMA _i	VIDA ÚTIL ESTIMADA DE SISTEMA (VUE) (Años)	VIDA ÚTIL ESTIMADA DEL EQUIPO MECÁNICO (VUE) (Años)	
NOMBRE EQUIPO ELECTROMECHANICO ELECTROBOMBA	BOMBA CENTRIFUGA	CARCAZA							
		RODETE							
		EJE							
		CHUMACERAS							
		EMPAQUES							
	MOTOR ELÉCTRICO	ARMADURA							
		ROTOR							
		ESTATOR							
		EJE							
		RODAMIENTOS							
	TABLERO ELÉCTRICO	GABINETE							
		CONTACTORES							
		RELAY TÉRMICO							
TERMONAGNETICAS									

$$VUE = VUE SISTEMA1XNORM. SISTEMA1 +VUE SISTEMA2XNORM. SISTEMA2 +VUE SISTEMA3XNORM. SISTEMA 3$$

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15: Ejemplo Ficha Técnica VUE para Equipo Mecánico por Factores Técnicos, Operacionales y Pesos de los Sistemas

EQUIPO MECÁNICO	SISTEMA	COMPONENTE	VIDA ÚTIL ESTIMADA COMPONENTE (VUE) (Años)	PESO DEL SISTEMA	NORMALIZAR PESO DEL SISTEMA	MULTIPLICAR VUE SISTEMA. $XNORM_i$. $SISTEMA_i$	VIDA ÚTIL ESTIMADA DE SISTEMA (VUE) (Años)	VIDA ÚTIL ESTIMADA DEL EQUIPO MECÁNICO (VUE) (Años)
NOMBRE EQUIPO ELECTROMECHANICO ELECTROBOMBA	BOMBA CENTRIFUGA	CARCAZA	20	13.98	0.45	4.66	10.35	12.04
		RODETE	10					
		EJE	10					
		CHUMACERAS	5					
		EMPAQUES	5					
	MOTOR ELÉCTRICO	ARMADURA	20	11.23	0.36	4.88	13.55	
		ROTOR	15					
		ESTATOR	15					
		EJE	10					
		RODAMIENTOS	5					
	TABLERO ELÉCTRICO	GABINETE	20	5.8	0.19	2.51	13.20	
		CONTACTORES	10					
		RELAY TÉRMICO	8					
		TERMONAGNETICAS	8					

$$VUE = VUE\ SISTEMA_1 \times NORM.\ SISTEMA_1 + VUE\ SISTEMA_2 \times NORM.\ SISTEMA_2 + VUE\ SISTEMA_3 \times NORM.\ SISTEMA_3$$

Fuente: Elaboración propia

4.7. CÁLCULO DE NIVEL CONFIANZA PARA PROPUESTA METODOLÓGICA

El nivel de confianza es una cifra de mérito que indica el grado de convicción de que el pronóstico es correcto y se da en porcentaje.

Una propiedad inherente de los pronósticos es la incertidumbre asociada de la estimación de vida restante. Una estimación de vida restante es tan buena como la confianza con la que se realiza. Si la confianza y los límites son muy amplios, la estimación no es muy valiosa porque una decisión basada en la estimación tiene para ser hecho en base a los niveles de riesgo aceptados. (ISO 13381-1, 2015).

Como se aprecia en la Tabla 16, la evaluación del nivel de confianza es de sesenta y dos por ciento en términos de confiabilidad es aceptable y está condicionado a que se debe la adquisición de datos, procesos de evaluación de la gravedad y el proceso pronóstico.

Tabla 16: Nivel de Confianza Pronóstico Estimación de Vida Útil Componentes, Sistemas y Equipo Mecánico por Factores Técnicos y Operacionales

PROCESO ACTIVIDAD PASO	FUENTES DE ERROR	PONDERACIÓN	ASIGNADO VALOR CONFIANZA (%)	RESULTANTE NIVEL CONFIANZA (%)
1	Historial de mantenimiento	0.15	80	12.00
2	Diseño y análisis de modo de falla	0.10	70	7.00
3	Parametros de la tecnica de analisis utilizados	0.15	70	10.50
4	Limites de severidad utilizados	0.10	65	6.50
5	Intervalo de medición	0.10	50	5.00
6	Configuracion de la base de datos	0.05	65	3.25
7	Adquisicion de datos	0.05	55	2.75
8	Proceso de evaluacion de gravedad	0.05	55	2.75
9	Proceso de diagnostico	0.10	55	5.50
10	Proceso de pronostico	0.15	45	6.75
NIVEL DE CONFIANZA				62.00
NOTA Nivel de Confianza = Suma(Ponderacion * Valor de Confianza Asignado)				

Fuente: ISO 13381-1: 2015

CONCLUSIONES

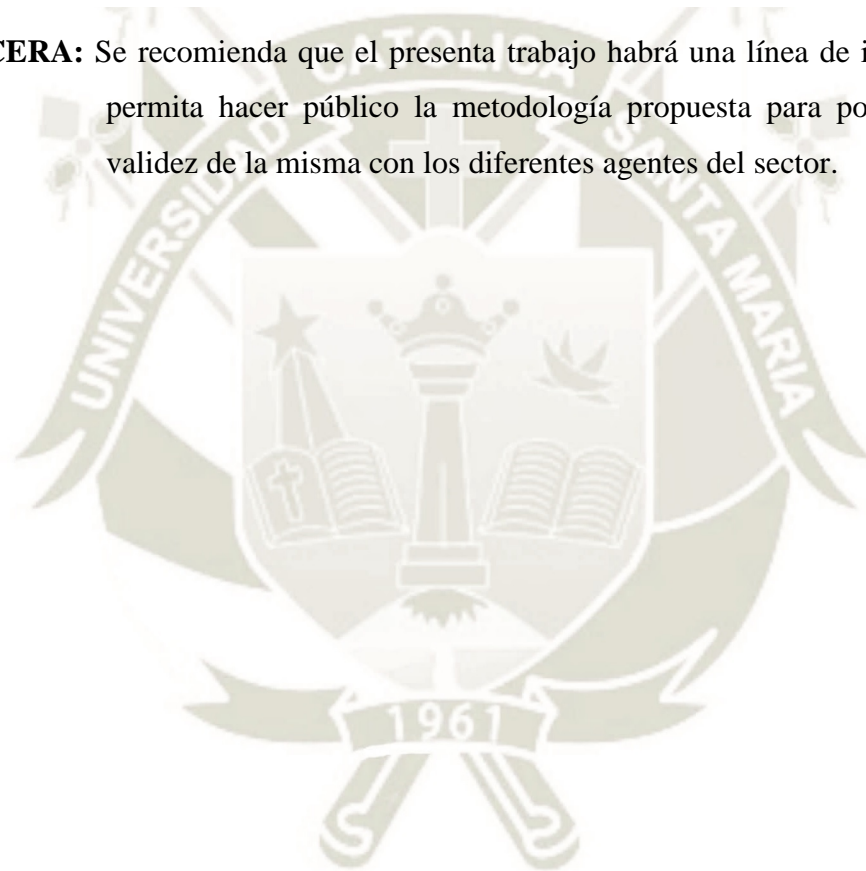
- PRIMERA:** Se formuló y se evaluó los factores técnicos y operacionales de degradación y durabilidad a través de una revisión bibliográfica especializada, consultas técnicas de fabricantes, opinión de expertos de la especialidad.
- SEGUNDA:** La selección de los factores técnicos y operacionales en relación a la durabilidad de los componentes, sistemas y equipos mecánicos se efectuó por medio de una matriz de comparación de pares obteniéndose para los factores operacionales; calidad del material, diseño de equipos, nivel de mantenimiento, tecnología y obsolescencia y por factores operacionales; condiciones ambientales, condiciones de operación y obsolescencia y obsolescencia económica.
- TERCERA:** Se desarrolló la propuesta metodológica por factores técnicos y operacionales con aproximación a la Norma ISO 15686 para evaluar la vida útil remanente de los componentes, sistemas y equipos mecánicos; evaluando los factores técnicos y operacionales por medios de subfactores y estos por indicadores o índices; y estos por métodos estadísticos, métodos de ingeniería, métodos de conocimientos.
- CUARTA:** El acondicionamiento de estimación de vida útil de componentes, sistemas y equipos mecánicos a la Norma ISO 15686 plantea un gran avance en la consecución de un método de pronóstico de la vida útil pero aún quedan aspectos muy importantes que se deben atender en el entorno de gestión de activos para su nivel de confianza.
- QUINTA:** Esta metodología propuesta de estimación de vida útil restante en el presente trabajo es un procedimiento de ingeniería práctico que se recomienda utilizarlo por su nivel de confianza del sesenta y dos por ciento.

RECOMENDACIONES

PRIMERA: Se recomienda utilizar la estimación vida útil para activos por medio del método por factores técnicos y operacionales, cuando se tiene información histórica de los equipos, información confiable de los fabricantes y información de equipos similares.

SEGUNDA: Se recomienda aplicar esta metodología de estimación de la durabilidad de activos físicos en el análisis del costo del ciclo de vida para reposición de activos, aplicación de estrategias de planeamiento de mantenimiento.

TERCERA: Se recomienda que el presente trabajo habrá una línea de investigación que permita hacer público la metodología propuesta para poder contrastar la validez de la misma con los diferentes agentes del sector.



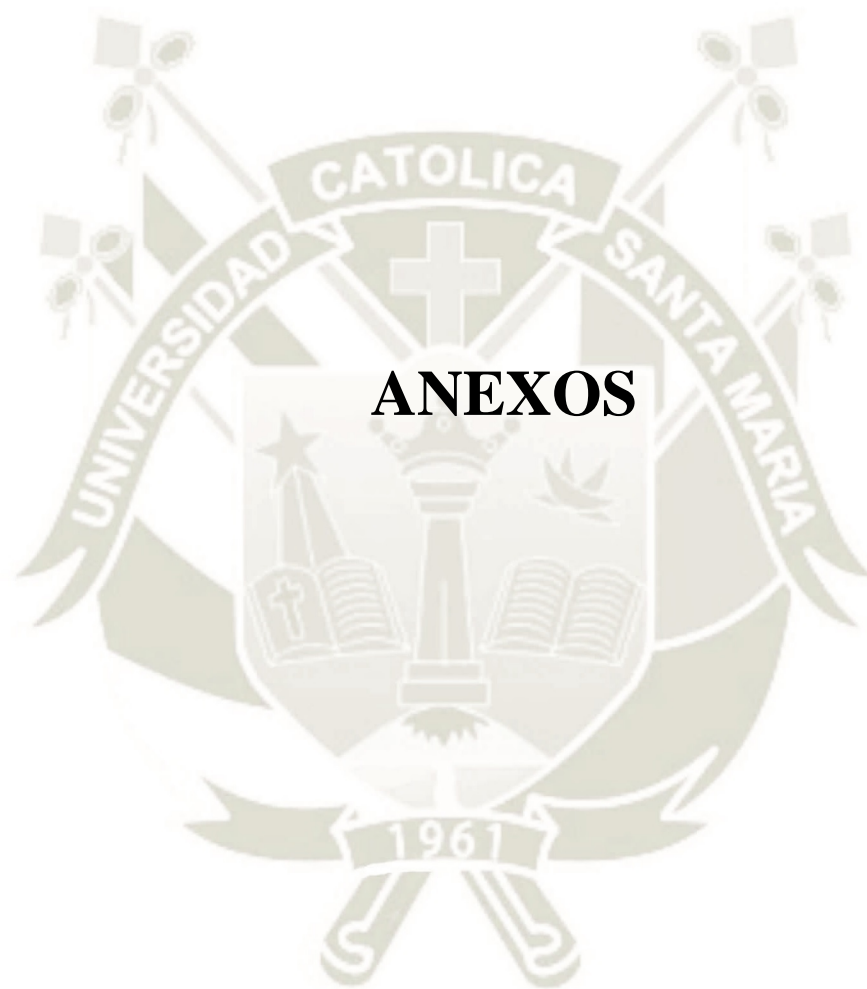
BIBLIOGRAFÍA

- Ahmadzadeh, F., Lundberg, J. (2013). Remaining useful life prediction of grinding mill liners using an artificial neural network, *Minerals Engineering*, 53 (1), 1–8.
- Animah, I., Shafiee, M. (2017). Condition assessment, remaining useful life prediction and life extension decision making for offshore oil and gas assets. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 53 (2018), 17-28.
- Arratia, E. M. (2006). *Modelo Matemático para la Estimación de la Vida Útil de Revestimiento en Molinos Semiautógenos*. Tesis de Ingeniero Mecánico. Facultad de Ciencias. Universidad Austral de Chile.
- Beltran, J. M. (1998). *Indicadores de Gestión: Herramientas para lograr la competitividad*. Bogota, Colombia. 3R Editores.
- Bermúdez, T., Rodríguez, L. (2013). *Investigación en la gestión empresarial*. Bogotá, Colombia: Ecoe Ediciones.
- Boškoski, P., Dolenc, B., Musizza, B., Juričić, D. (2017). Model-based prediction of the remaining useful life of the machines. *IFAC Papers On Line*, 50(1), 128–1280.
- Caballero, A. (2013). *Metodología integral innovadora para planes y tesis. La Metodología del como Formularlos*. Querétaro, México: Artgraph.
- Castañeda, J. (1996). *Métodos de Investigación Tomo II*. Mexico DF, Mexico: Mc Graw Hill.
- Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, L. (2014). *Metodología de la investigación*. México: Mc Graw Hill.
- Herrera, A, y Silva, J. (2011). *Aplicación de Métodos Secuenciales al Riesgo en la Estimación de Vida Útil de Componentes*. Tesis de Ingeniero Civil Electricista. Facultad de Ciencias. Universidad de Chile.
- Hong, W., Cai, W., Wang, S., Tomovic, M. M. (2017). Mechanical wear debris feature, detection, and diagnosis: A review. *Chinese Journal of Aeronautics*, xxx(xx), xxx–xxx.
- Hu, Ch., Zhou, Z., Zhang, J., Si, X. (2014). A survey on life prediction of equipment. *Chinese Journal of Aeronautics*, 28(1), 25–33.
- Kalmakov, V. A., Andreev, A.A., Martyanov, A.S., (2017). Remaining Vehicles Useful Lifetime Estimation Based on Operation Conditions Measurement, *Science Direct*, 206 (1), 1716–172.
- Moubray, J. (2004). *Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad*. Madrid, España: Aladon Ltd.
- Novillo, A. (2013). *Análisis de las Especificaciones PAS-55: 2008 como aporte a la Gestión de Activos Físicos en las ensambladoras automotrices del Ecuador*. (Tesis de Maestría). Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador.

- Ñaupas, H., Novoa, E. y Villagómez, A. (2013). *Metodología de la Investigación Científica y Elaboración de Tesis*. Lima, Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Organización Internacional para la Estandarización -ISO. (2016). *ISO 14224 Industrias de petróleo, petroquímica y gas natural-recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos*. Bruselas.Belgica: Editorial BSI Standards Limited
- Organización Internacional para la Estandarización-ISO. (2011). *ISO 15686-8 Buildings and constructed assets- Service life planning- Part 2: Service life prediction procedures*. Berna, Suiza: Published in Switzerland.
- Organización Internacional para la Estandarización-ISO. (2015). *ISO 13381-1 Condition monitoring and diagnostics of machines- Prognostics- Part 1: General guidelines*. Berna, Suiza: Published in Switzerland.
- Organización Internacional para la Estandarización-ISO. (2015). *ISO 55000-1 Sistema de Gestión de Activos*. Berna, Suiza: Published in Switzerland.
- Ortega, L. (2012). *Propuesta Metodológica para estimar la Vida Útil de los Sistemas Constructivos de Fachadas y Cubiertas utilizados actualmente con más frecuencia en la Edificación Española a partir del Método Propuesto por la Norma ISO-15686*. Tesis Doctoral. Escuela Superior de Arquitectura. Universidad Politécnica de Valencia.
- Pinto, M. R. (2010). *Metodologías de Previsao da Vida Útil de Materias, Sistemas ou Componentes da Construcao. Revisao Bibliográfica*. Porto Facultad de Engenharia Maestre em Engenharia Civil.
- Sikorska, J.Z., Hodkiewicz, M., Ma, M. (2011). Prognostic modelling options for remaining useful life estimation by industry. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 25 (2011), 1803–1836.
- Sola, S; Crespo, S. (2016). *Principios y marcos de referencia de la gestión de activos*. Madrid, España; AENOR.
- Vaidya, P., Rausand, M. (2011). Remaining useful life, technical health, and life extension. *Journal of Risk and Reliability*, 225(1), 219-225.
- Villada, F., Molina, J.D., y Velilla, E. (2009). Modelo de Vida Útil para Estructuras Acero-Zinc, Utilizadas en la Transmisión de Energía Eléctrica en Colombia. *Universidad de Antioquia, Facultad de Ingeniería*, 20(6), 57-66.
- Villagra, J.A. (2015). *Indicadores de Gestión: Un enfoque práctico*. México. CENGAGE Learning.
- Wang, D., Zhao, Y., Yang, F., y Tsui, K. (2017). Nonlinear-drifted Brownian motion with multiple hidden states for remaining useful life prediction of rechargeable batteries. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 93 (2017), 531–544.
- Xiao-Sheng, S., Wenbin, W., Chang-Hua, H., Dong-Hua, Z., (2010). Remaining useful life estimation – A review on the statistical data driven approaches. *European Journal of Operational Research*, 213 (1), 1–14.

- Yaguo, L., Naipeng, L., Liang, G., Ningbo, L., Tao Yan, J. L. (2017). Machinery health prognostics: A systematic review from data acquisition to RUL prediction, *Mechanical Systems and Signal Processing* , 104 (2018), 799–834.
- Zhang, Z., Si, X., Hu, Ch y Lei, Y. (2017). Degradation data analysis and remaining useful life estimation: A review on Wiener-process-based methods. *European Journal of Operational Research*, 000(2018), 1-22.
- Morales, J. (2014). *Gestión de Activos: Mitos, Realidad y Oportunidad. XVI Congreso Internacional de Mantenimiento*. Colombia. ACIEM





ANEXOS

ANEXO 1: OBTENCIÓN INDICADORES, INDICES PARA LOS FACTORES TÉCNICOS Y OPERACIONALES

1. TENACIDAD Y COEFICIENTE DE TENACIDAD:

Es la energía de deformación total que es capaz de absorber o acumular un material antes de alcanzar la rotura en condiciones de impacto, por acumulación de dislocaciones. Que se opone con resistencia a deformarse o romperse, es la energía que absorbe un material, con las consecuentes deformaciones que el mismo adquiere antes de romperse.

Una medida de la capacidad de un material para absorber energía sin romperse. (J/m³ ó N.mm/mm³= MPa).

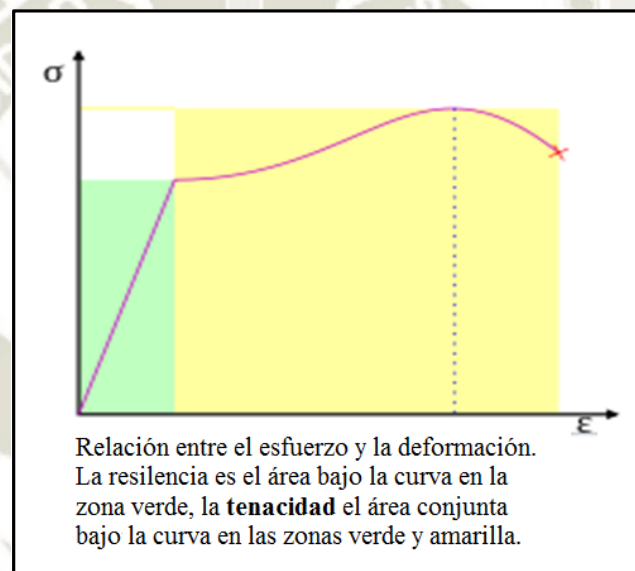


Figura 1: Relación Esfuerzo y Deformación

Fuente: <https://es.wikipedia.org/wiki/Tenacidad>

$$\text{COEFICIENTE TENACIDAD} = \frac{\text{TENACIDAD DEL MATERIAL DE EVALUACIÓN}}{\text{TENACIDAD DEL MATERIAL ACERO SAE 1020}}$$

$$\text{COEFICIENTE TENACIDAD} = \frac{\text{TENACIDAD DEL MATERIAL DE EVALUACIÓN}}{\text{TENACIDAD DEL MATERIAL ACERO SAE 1045}}$$

Tabla 1: Pruebas Charpy para distintas Durezas Brinell Acero SAE 1045

Dureza Brinell	Probeta Charpy (Entalla en V), Joule, realizado a diferentes Temperaturas						
	-73°C	- 45°C	- 18°C	10°C	40°C	65°C	95°C
225	7-15	11-20	27-40	51-65	55-70	63-74	70-81
300	----	8-12	10-16	13-24	19-36	27-40	36-47

Fuente: Cia, General de Aceros S.A., 2019

2. ESFUERZO DE TRACCIÓN MÁXIMO Y COEFICIENTE DE ESFUERZO:

El indicador es el esfuerzo de tracción máximo del material, en nuestro caso tomamos como referencia al Acero SAE 1020, Acero SAE 1045:

ACERO SAE 1020:

Esfuerzo de Tracción Máximo: 500 MPa, 539 MPa teórico

Maquinabilidad: 72%

- HB: 110-140.

Tabla 2: Composición Química del Acero SAE 1020

COMPOSICIÓN QUÍMICA	%C	%Mn	%P _{Max}	%S _{Max}	%Si _{Max}
ANÁLISIS	0.18-0.23	0.3-0.6	0.04	0.05	0.15-0.30

Fuente: Cia, General de Aceros S.A., 2019

APLICACIONES: Partes de maquinaria, ejes, eslabones para cadenas, pasadores, bujes cementados, tornillos corrientes, bridas, piñones para transmisiones de cadenas, clavos de ferrocarril.

$$\text{COEFICIENTE ESFUERZO} = \frac{\text{ESFUERZO DE TRACCIÓN MÁXIMO MATERIAL}}{\text{ESFUERZO TRACCIÓN MÁXIMO ACERO SAE 1020}}$$

Tabla 3: Propiedades Mecánicas del Acero SAE1020

PROPIEDADES MECÁNICAS					
Estado de Suministro	Resistencia a la Tracción MPa	Dureza Brinell Aprox.	Tratamiento Térmico	Temperatura °C	Medio de Enfriamiento
Laminado en caliente	441	140/180	Forja	850-1150	Arena seca
Normalizado	490-588	150	Normalizado	880-920	Aire
Recocido	441-539	130/150	Recocido	660-720	Horno

Fuente: Cia, General de Aceros S.A., 2019

ACERO SAE 1045:

Esfuerzo de Tracción Máximo: 800 MPa,

- HB: 160-200.

Tabla 4: Composición Química del Acero SAE 1045

COMPOSICIÓN QUÍMICA	%C	%Mn	%P _{Max}	%S _{Max}	%Si _{Max}
ANÁLISIS	0.43-0.50	0.6-0.9	0.04	0.05	0.2-0.4

APLICACIONES: Productos que requieran dureza y tenacidad: manivelas, pernos de grado 5, bulones, engranajes, acoplamientos, bielas, cigüeñales, eje de maquinaria de resistencia media, espárragos, fabricación de herramientas agrícolas.

$$\text{COEFICIENTE ESFUERZO} = \frac{\text{ESFUERZO DE TRACCIÓN MÁXIMO MATERIAL}}{\text{ESFUERZO TRACCIÓN MÁXIMO ACERO SAE 1045}}$$

Tabla 5: Propiedades Mecánicas del Acero SAE1045

PROPIEDADES MECÁNICAS TEMPERATURA AMBIENTE SIN ENDURECIMIENTO					
Estado de Suministro	Resistencia a la Tracción MPa	Dureza Brinell Aprox.	Tratamiento Térmico	Temperatura °C	Medio de Enfriamiento
Laminado en caliente	655	190	Forja	850-1150	Arena seca
Normalizado	655	190	Normalizado	880-920	Aire
Recocido	620	180	Recocido	660-720	Horno

Fuente: Cia, General de Aceros S.A., 2019

3. DUREZA Y COEFICIENTE DE DUREZA BRINELL:

La dureza se define como la capacidad de los materiales para resistir rajaduras, cortes, abrasión, erosión y demás daños en su superficie. Todos los materiales tienen cierto nivel de dureza. El procedimiento de dureza Brinell se aplica sobre todo con materiales con base férrica o con aleaciones no férricas.

$$\text{COEFICIENTE DUREZA BRINELL} = \frac{\text{DUREZA DEL ACTIVO FISICO}}{\text{DUREZA ACTIVO FISICO DE REFERENCIA}}$$

4. MAQUINABILIDAD Y INDICE DE MAQUINABILIDAD:

Se puede definir la maquinabilidad como la aptitud o capacidad de los materiales metálicos para dejarse conformar por arranque de virutas con cuchillas de corte, mediante una máquina herramienta. Esta característica cuantifica el proceso de mecanizado y puede ser definida para una aplicación específica mediante varios criterios, como el tipo de material y la geometría de la herramienta de corte, la operación y condiciones del mecanizado, la lubricación durante el mecanizado, y un largo etcétera que depende de estos últimos factores

Habitualmente se toma como material de referencia el acero AISI 1112 (re sulfurado), al que se le da la calificación de 100.

$$INDICE\ MAQUINABILIDAD = \frac{VELOCIDAD\ DE\ CORTE\ MATERIAL}{VELOCIDAD\ DE\ CORTE\ ACERO\ SAE\ 1112}$$

5. FACTOR DE SEGURIDAD Y INDICE DE FACTOR DE SEGURIDAD:

Un factor de seguridad en un diseño es aquel que resulta de dividir la carga o esfuerzo de uso por la carga o esfuerzo de falla.

Los ingenieros emplean el factor de seguridad para asegurarse contra condiciones inciertas o desconocidas. Los factores de seguridad a veces están prescritos en códigos, pero la mayoría de las veces son fruto de la experiencia.

El $FS > 1$ el diseño es adecuado, entre mayor sea FS más seguro será el diseño

$$FACTOR\ DE\ SEGURIDAD = \frac{CARGA\ O\ ESFUERZO\ DE\ USO}{CARGA\ O\ ESFUERZO\ DE\ FALLA}$$

$$FACTOR\ DE\ SEGURIDAD = \frac{ESFUERZO\ NORMAL\ PERMISIBLE}{ESFUERZO\ NORMAL\ DE\ DISEÑO}$$

$$INDICE\ FACTOR\ SEGURIDAD = \frac{FACTOR\ SEGURIDAD\ DEL\ PROYECTO}{FACTOR\ SEGURIDAD\ M.\ PUGSLEY}$$

Para determinar FS deben considerar circunstancias como:

- Materiales de los distintos componentes que integran el diseño.
- Calidad de la estructura en cuanto a los componentes y su acople.
- La tolerancia térmica o comportamiento ante cambios de temperatura.
- El deterioro por uso y si la pieza o estructura estará sujeta a mantenimiento programado.
- Exposición a los factores climáticos, corrosión, humedad, salitre.

De acuerdo con "Mechanical Design Handbook" por Harold A. Rothbart, Los valores típicos de factores de diseño de seguridad van desde 1.0 (en contra de rendimiento) en

el caso de componentes de las aeronaves a 3 en aplicaciones típicas de diseño de la máquina, a un 10 en el caso de algunos recipientes de presión.

Caculo de factor de seguridad según método de Pugsley

$$FS = n_{xx} \cdot n_{yy}$$

Donde:

n_{xx} : Factor de seguridad que involucran características A, B, C.

n_{yy} : Factor de seguridad que involucran características D, E.

A: Calidad de os materiales.

B: Control sobre la carga aplicada.

C: Exactitud del análisis del esfuerzo.

D: Peligro para el personal.

E: Impacto económico.

Tabla 6: Calculo de valor Exacto de Factor de Seguridad Metodo Pugsley

Característica		B				
		mb	b	r	p	
A=mb	C=	mb	1.1	1.3	1.5	1.7
		b	1.2	1.45	1.7	1.95
		r	1.3	1.6	1.9	2.2
		p	1.4	1.75	2.1	2.45
A=b	C=	mb	1.3	1.55	1.8	2.05
		b	1.45	1.75	2.05	2.35
		r	1.6	1.95	2.3	2.65
		p	1.75	2.15	2.55	2.95
A=r	C=	mb	1.5	1.8	2.1	2.4
		b	1.7	2.05	2.4	2.75
		r	1.9	2.3	2.7	3.1
		p	2.1	2.55	3.0	3.45
A=p	C=	mb	1.7	2.05	2.4	2.75
		b	1.95	2.35	2.75	3.15
		r	2.2	2.65	3.1	3.55
		p	2.45	2.95	3.45	3.95
mb= muy bien		b= bien				
r= regular		p= pobre				

Característica		D		
		ns	s	ms
E=	ns	1.0	1.2	1.4
	s	1.0	1.3	1.5
	ms	1.2	1.4	1.6
ms= muy serio		s= serio	ns= no serio	

Fuente: Pugsley, 2010

6. FUNCIONABILIDAD Y INDICE DE CALIDAD:

MÉTODO DE TAGUCHI

Ingeniero Mecánico Genichi Taguchi en 1980 planteo la Metodología de la Calidad para usar en forma experimental en:

1. Diseño de productos o procesos de modo que sean robustos ante las condiciones ambientales.
2. Diseño y desarrollo de productos de modo que sean robustos a la variación de componentes.
3. Minimización de las variaciones respecto a un valor objetivo.

Taguchi considera tres etapas en el desarrollo de un producto o proceso:

1. Diseño del sistema,
2. Diseño de parámetros y
3. Diseño de tolerancias.

En el diseño del sistema, el ingeniero utiliza principios científicos y de ingeniería para determinar la configuración básica. En la etapa de diseño de parámetros, se determinan los valores específicos para los parámetros del sistema. Generalmente, el objetivo es especificar estos valores nominales de modo que se minimice la variabilidad transmitida por variables incontrolables (o ruido).

El diseño de tolerancias se utiliza con objeto de determinar las mejores tolerancias para los parámetros. Los métodos de diseño de tolerancias revelaran cuales componentes del diseño son más sensibles y en que valores deben fijarse las tolerancias.

Taguchi modela con una función de perdida las desviaciones que pueden ocurrir respecto a este valor nominal. La pérdida se refiere al costo que se carga a la sociedad cuando el consumidor utiliza un producto cuyas características difieren de las nominales. El concepto de perdida social se desvía de la tradicional, Taguchi propone una función cuadrática de perdida de la forma.

$$L = k(y - m)^2$$

Donde:

L: Perdida de calidad

K: Constante de costo

Y: Valor promedio real de la característica de calidad.

m: Valor nominal o central de la característica de calidad

Ejem: En un circuito neumático de camión debe trabajar a presión normal igual a 8 Kg/cm². El laboratorio ha encontrado recomendable una tolerancia funcional de ± 0.5 Kg/cm². Pero también sabemos que la mitad de clientes se quejan por desregulación con

el uso por fugas en los racores, si la presión alcanza los 10 Kg/cm². El recomponer la válvula cuesta 100 US\$. Los camiones son expedidos con 8±0.5 kg/cm².

Solución:

K =?

L= 100 US\$

y = 10 Kg/cm²

m= 8 Kg/cm

$$1. L = k(y - m)^2 \longrightarrow 100 \text{ US\$} = K*(10-8)^2 \longrightarrow K=25 \text{ US\$}$$

$$2. L = 25*(8.5-8)^2 \longrightarrow L = 6.25 \text{ US\$/Unidad}$$

INDICE DE CALIDAD:

$$\text{INDICE DE CALIDAD} = \frac{\text{COMPONENTES BUENOS PRODUCIDOS}}{\text{TOTAL DE COMPONENTES PRODUCIDOS}}$$

7. CONFIABILIDAD:

Este factor de relevante considerado en la propuesta metodología del tema de investigación para estimar la vida útil del componentes, sistemas y equipos mecánicos, porque permite considerar variables intrínsecas dentro del factor confiabilidad como es el nivel de mantenimiento, proceso de fabricación, montaje y operación.

La confiabilidad renombra muchos puntos que hay que tomar en consideración como son reputación del activo, garantía en el proceso de adquisición y puesta en marcha, negocios futuros con la misma marca y análisis de costo de inversión y operación.

Métodos de confiabilidad

- a. Pruebas aceleradas: Es una evaluación realizada en ciclos de vida más rápidos, donde sea aplicable, y con altos esfuerzo de operación y ambientales, mayores a los normales. Hay modelos como el de Arrhenius, Eyring, HALT, HASS.
- b. Benchmarking: Es el proceso para mejorar el desempeño de los productos y los procesos, identificando, comprendiendo, y adaptando las mejores prácticas, procesos y características, y desempeño de productos y procesos de clase mundial, de manera continua. El benchmarking compara productos, procesos, o servicios y puede ser interno o externo.

- c. **Análisis de degradación:** Degradación es la propiedad de un proceso o producto que pierde su calidad de diseño o características de confiabilidad en el tiempo al ser sometido a esfuerzo.
- d. **Diseño para manufactura y ensamble (DFMA):** Es una metodología interdisciplinaria que proporciona un método para analizar un diseño propuesto desde el punto de vista del ensamble y manufactura.
- e. **Diseño de experimentos (DOE):** Se usa para proporcionar un método estadístico estructurado para la planeación y ejecución de pruebas. Se basa en la variación sistemática de parámetros para determinar el efecto de esos parámetros en el resultado.
- f. **Revisiones de diseño:** Es una evaluación disciplinada e interdisciplinaria por un grupo de expertos para encontrar y resolver deficiencias o impedimentos que puedan afectar el lanzamiento de proyecto, revisando al final de cada actividad mayor del plan del proyecto. Las revisiones pueden ser formales e informales.
- g. **Identificación temprana de problemas:** Es un método que aplica métodos estadísticos a datos de campo para detectar problemas de producto y proceso lo más antes posible.
- h. **A prueba de error (POKA YOKE):** Es la práctica de diseñar productos o procesos de manera que se minimice o prevenga la probabilidad de errores humanos o mecánicos (Andreani -2009).

Se aplica para:

Evitar que los productos se fabriquen o ensamblen incorrectamente

Diseñar el proceso de manufactura para evitar partes más ensambladas

Diseñar el software que no permita entradas en campos incorrectos.

- i. **Análisis del modo y efecto de falla (FMEA):** Es un grupo de actividades sistemático orientado a reconocer y evaluar las fallas potenciales de un producto o proceso y los efectos de esa falla, identificando acciones que puedan eliminar o reducir la posibilidad de que ocurra la falla, y documentar el proceso completo.
- j. **Reporte de fallas, análisis, sistema de acción correctiva (FRACAS):** Es una revisión formal de la dirección y un sistema de bucle cerrado que se enfoca a resolver incidentes de fallas. Un grupo interdisciplinario analiza, determina la causa de falla, e inicia la acción correctiva, agrupando los incidentes individuales para enfocar de modo eficiente los recursos. El FRACAS asegura que todos los modos de falla que ocurran en un producto durante su desarrollo desde su arranque, estén documentados, monitoreados, y corregidos como sea necesario.

- k.** Análisis de elementos finitos (FEA): El análisis de elementos finitos (FEA) es un modelo matemático para predecir el esfuerzo o respuesta térmica de una estructura a la carga o estímulo térmico. Puede usarse también para modelado de fluidos. La estructura se divide en elementos muy pequeños analizando su interacción. El comportamiento de los elementos individuales se suma y la respuesta de la estructura completa se predice, en relación con la distribución del esfuerzo, temperatura o flujo.
- l.** Diagramas de bloque funcionales (FBD): Son medios gráficos para reducir sistemas complejos dentro de partes más pequeñas de elementos comprensibles con el propósito de realizar análisis (FMEA/ FMECA/ Confiabilidad, etc.), también se refieren como “Boundary Diagrams”
- m.** Análisis de datos de vida: Sirve de marco de referencia analítico para determinar la probabilidad de falla de productos durante su ciclo de vida y evaluar la concordancia de acuerdo a los requerimientos especificados de entrada. El análisis de datos de vida caracteriza las distribuciones de probabilidad de falla de un componente, subsistema, o producto para evaluar su conformación de las características de confiabilidad contra los requerimientos establecidos.
- n.** Diagramas de parámetros: Son un medio para reducir sistemas complejos a elementos comprensibles con el propósito de identificar influencias internas y externas en la funcionalidad del sistema, subsistema, ensamble o componente.

MODELO WEIBULL PARA OBTENCIÓN DEL FACTOR CONFIABILIDAD

El modelo probabilístico de Weibull es muy flexible, pues la ley tiene tres parámetros que permiten ajustar constantemente toda clase de resultados experimentales y operacionales, es una distribución estadística aplicable al estudio de la fiabilidad en problemas relativos a la vida de componentes y materiales. La distribución de Weibull, que recibe su nombre del investigador sueco que la desarrolló, se caracteriza por considerar la tasa de fallos variable al poder ajustarse a una gran variedad de funciones de fiabilidad.

La distribución de Weibull nos permite estudiar cuál es la distribución de fallos de un componente clave de seguridad que pretendemos controlar y que a través de nuestro registro de fallos observamos que éstos varían a lo largo del tiempo y dentro de lo que se considera tiempo normal de uso. El método no determina cuáles son las variables que influyen en la tasa de fallos, tarea que quedará en manos del analista, pero al menos la

distribución de Weibull facilitará la identificación de aquellos y su consideración, aparte de disponer de una herramienta de predicción de comportamientos.

Función Weibull:

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\lambda}{\eta} \right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\lambda}{\eta} \right)^\beta}$$

Indicador Confiabilidad:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\lambda}{\eta} \right)^\beta}$$

Parámetros de Función Weibull (β , γ , η):

Beta (β): Parámetro de forma, denota en que ciclo de vida se encuentra la máquina, sea infancia, vida útil o vejez.

$\beta < 1$ Periodo de infancia.

$\beta = 1$ Periodo de vida útil, independiente del proceso y tiempo.

$\beta > 1$ Periodo de desgaste o obsolescencia que se puede analizar detalladamente para

Orientar el diagnóstico.

$1.0 < \beta < 2.5$ Fenómeno fatiga

$3.0 < \beta < 4.0$ Fenómeno de desgaste, corrosión

Eta (η): Parámetro de escala o vida característica, tiempo donde se manifestó la falla más trascendente en un ciclo de vida determinada probabilidad de falla del 63.20%.

Gamma (γ): Constante de tiempo mínimo de falla, tiempo libre de falla o tiempo de garantía, es el lapso de tiempo donde la máquina no tiende a fallar.

Tiempo (t): Es la variable independiente, es decir, es el lapso de tiempo específico al que hallamos su respectiva confiabilidad en la máquina.

La Tabla 7 nos da el rango de evaluación del factor confiabilidad en el intervalo de 0 a 1.

Tabla 7: Escala de Eevaluación del Subfactor Confiabilidad

Escala de clasificación	Condiciones	Factor correspondiente Método Factorial
1. Excelente	Con exceción de sistemas médicos y aviacion, el cual requiere mayor del 95%, es un factor bueno para el trabajo, se debe mantener o mejorar progresivamnnete con un mantenimiento eficaz	> 0.85
2. Bueno	Según sea el sistema , equipo, componente permite el trabajo regular con una probailidad de falla aceptable	0.75 - 0.85
3. Aceptable	Según sea el sistema , equipo, componente permite el trabajo, pero amerita seguimiento, o mantenimiento preventivo-predictivo	0.60 - 0.75
4. Normal	Según sea el sistema , equipo, componente requiere mejora o seguimiento	0.50 - 0.60
5. Malo	Urgencia de reparación	0.25 - 0.50
6. Malo	No se puede trabajar con este sistema, equipo o componente, necesita reparacion total o cambio	0.00 - 0.25

Fuente: J.L. Cronbach 1951

MODELO EXPONENCIAL PARA OBTENCIÓN DEL FACTOR CONFIABILIDAD

$$R(t) = e^{-\lambda*t}$$

Donde:

R(t): Confiabilidad

$$\lambda = \frac{1}{MTBF} : \text{Frecuencia de Fallas } \left(\frac{\text{Fallas}}{\text{Horas}} \right)$$

t: Tiempo (Horas)

8. MANTENIBILIDAD:

$$M(t) = 1 - e^{-\mu*t}$$

Donde:

M(t): Mantenibilidad

$$\mu = \frac{1}{MTTR} = \frac{\text{NUMERO DE REPARACIÓN}}{\text{HORAS DE REPARACIÓN}}$$

MTTR: Tiempo medio entre reparaciones. (Horas).

t: Tiempo (Horas).

9. DISPONIBILIDAD:

La disponibilidad de un equipo define la probabilidad de que el equipo funcione satisfactoriamente en el momento en que sea requerido después del comienzo de su operación, cuando se usa bajo condiciones estables, donde el tiempo total considerado incluye el tiempo de operación, el tiempo activo de reparación, el tiempo inactivo, el tiempo en mantenimiento preventivo, el tiempo administrativo, el tiempo de funcionamiento sin producir y el tiempo logístico.

El factor de disponibilidad de un equipo, sistema o componente es una medida que nos indica cuánto tiempo está ese equipo o sistema operativo respecto de la duración total durante la que se hubiese deseado que funcionase.

El factor disponibilidad es una medida relevante y útil en el que usuario debe tomar decisiones para elegir un equipo entre varias alternativas, donde le permite tener una imagen completa sobre el perfil de su funcionabilidad, por lo tanto, debe ser cuantificable porque está en función de su contexto operacional. El factor disponibilidad nos permite cuantificar del equipo o componente su vida útil estimable o remanente porque está en función del desgaste, falta de repuestos, la mantenibilidad o fechas de caducidad de contrato de servicio relacionado con el bien.

El factor disponibilidad lo obtenemos de la siguiente formula y lo cuantificamos por medio de los siguientes Tablas 4,5, 6; donde indicamos los valores del factor por 8, 16 o 24 horas diarias de trabajo y durante un periodo de un año.

$$D = \text{Disponibilidad} = \frac{\text{Tiempo Total} - \text{Tiempo Fuera de Servicio}}{\text{Tiempo Total}}$$

Dónde:

D: Disponibilidad: Valor comprendido entre 0 y 1.

Tiempo Total: Tiempo en horas durante un periodo de un año.

Tiempo Fuera de Servicio: Tiempo en horas del activo por mantenimiento programado, no programado, perdidas de velocidad, por logística y administrativas.

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

Donde:

D: Disponibilidad valor comprendido entre 0 y 1.

MTBF: Tiempo medio entre fallos. (Horas)

MTTR: Tiempo media de reparación (Horas)

Tabla 8: Escala de Evaluación del Factor Disponibilidad para 8 horas de Jornada de Trabajo por Año

Escala de clasificación	Tiempo fuera de servicio	Factor correspondiente Método Factorial
Bueno	Cero horas	1.00
Bueno	146 horas (18.25 días)	0.95
Bueno	292 horas (36.5 días)	0.90
Bueno	438 horas (54.75 días)	0.85
Bueno	584 horas (73 días)	0.80
Regular	730 horas (91.25 días)	0.75
Regular	876 horas (109.5 días)	0.70
Regular	1022 horas (127.75 días)	0.65
Regular	1168 horas (146 días)	0.60
Regular	1314 horas (164.25 días)	0.55
Regular	2737.5 horas (342.19 días)	0.50
Malo	1606 horas (200.75 días)	0.45
Malo	1752 horas (219 días)	0.40
Malo	2044 horas (255.5 días)	0.30
Malo	2336 horas (292 días)	0.20
Malo	2628 horas (328.5 días)	0.10

Fuente: Elaboracion propia

Tabla 9 : Escala de Evaluación del Factor Disponibilidad de 16 horas de Jornada de Trabajo por Año

Escala de clasificación	Tiempo fuera de servicio	Factor correspondiente Método Factorial
Bueno	Cero horas	1.00
Bueno	292 horas (18.25 días)	0.95
Bueno	584 horas (36.5 días)	0.90
Bueno	876 horas (54.75 días)	0.85
Bueno	1168 horas (73 días)	0.80
Regular	1460 horas (91.25 días)	0.75
Regular	1752 horas (109.5 días)	0.70
Regular	2044 horas (127.75 días)	0.65
Regular	2336 horas (146 días)	0.60
Regular	2628 horas (164.25 días)	0.55
Regular	2920 horas (182.5 días)	0.50
Malo	3212 horas (200.75 días)	0.45
Malo	3504 horas (219 días)	0.40
Malo	4088 horas (255.5 días)	0.30
Malo	4672 horas (292 días)	0.20
Malo	5256 horas (328.5 días)	0.10

Fuente: Elaboracion propia

Tabla 10: Escala de Evaluación del Factor Disponibilidad de 24 horas de Jornada de Trabajo por Año

Escala de clasificación	Tiempo fuera de servicio	Factor correspondiente Método Factorial
Bueno	Cero horas	1.00
Bueno	438 horas (18.25 días)	0.95
Bueno	876 horas (36.5 días)	0.90
Bueno	1314 horas (54.75 días)	0.85
Bueno	1752 horas (73 días)	0.80
Regular	2190 horas (91.25 días)	0.75
Regular	2628 horas (109.5 días)	0.70
Regular	3066 horas (127.75 días)	0.65
Regular	3504 horas (146 días)	0.60
Regular	3942 horas (164.25 días)	0.55
Regular	4380 horas (182.5 días)	0.50
Malo	4818 horas (200.75 días)	0.45
Malo	5256 horas (219 días)	0.40
Malo	6132 horas (255.5 días)	0.30
Malo	7008 horas (292 días)	0.20
Malo	7884 horas (328.5 días)	0.10

Fuente: Elaboracion propia

10. EFICIENCIA Y INDICE DE EFICIENCIA:

DEFINICIÓN: Referencia en la mejor utilización de los recursos no solo esta relación directa de la eficiencia o rendimiento; también en relación a la capacidad de producción, velocidad de proceso, unidades de producción por periodo, capacidad de almacenamiento, etc.

- Trata de obtener un resultado con la misma cantidad posible de recursos y en el lugar y en el plazo de tiempo más pequeño.

ATRIBUTOS:

- Productividad
- Costo unitario
- Rentabilidad.

EFICIENCIA	EFICACIA	EFFECTIVIDAD
¿Cómo?	¿Qué?	¿Para qué?
Uso de recursos	Cumplimiento de metas	Impacto del resultado

$$EFICIENCIA = \frac{RESULTADOS}{RECURSOS}$$

$$INDICE EFICIENCIA = \frac{EFICIENCIA DEL ACTIVO FISICO}{EFICIENCIA AL MEJOR ACTIVO FISICO COMPETENCIA}$$

OBSOLESCENCIA TECNOLÓGICA

Lo primero su origen etimológico. En este sentido, podemos matizar que emana del latín, en concreto, del vocablo “obsolescens”, que puede traducirse como “algo que ha pasado a dejar de usarse”.

El factor por obsolescencia tecnológica lo determina la incapacidad de producir eficientemente, esto debido a la innovación de los activo físicos.

Los activos físicos pueden quedar obsoletos antes de su desgaste físico, por lo que su vida útil puede haber terminado a pesar de que se sepa que todavía permanecen en condiciones de trabajar por mucho más tiempo.

Otro caso es el de una expansión del negocio, lo que origina que el activo actual no sea capaz de satisfacer en forma eficiente las necesidades de la empresa, aun cuando esté en buenas condiciones operativas.

La obsolescencia es la caída en desuso de máquinas, equipos y tecnologías motivada no por un mal funcionamiento del mismo, sino por un insuficiente desempeño de sus funciones en comparación con las nuevas máquinas, equipos y tecnologías introducidos en el mercado.

La obsolescencia es, también, consecuencia directa de las actividades de investigación y desarrollo que permiten en tiempo relativamente breve fabricar y construir equipos mejorados con capacidades superiores a las de los precedentes. El paradigma, en este caso, lo constituyen los equipos informáticos capaces de multiplicar su potencia en cuestión de meses.

11. EFICACIA Y INDICE DE EFICACIA:

DEFINICIÓN: Referencia en la capacidad para alcanzar un objetivo bajo unos estándares predeterminados.

- Mide el grado porcentual de cumplimiento

ATRIBUTOS:

- Cantidad. (Producto).
- Calidad
- Tiempo
- Costo
- Satisfacción al cliente
- Cobertura
- Cumplimiento (Resultados)
- Desviación

$$EFICACIA = \frac{RESULTADO ALCANZADO}{RESULTADO PREVISTO} = \frac{LOGRO DE OBJETIVOS}{RESULTADO PROPUESTO}$$

$$EFICACIA = \frac{VALOR LOGRADO}{VALOR PROPUESTO}$$

$$EFICACIA = \frac{PRODUCCIÓN REAL}{CAPACIDAD PROPUESTA}$$

$$EFICACIA = \frac{VELOCIDAD PRODUCCION REAL}{VELOCIDAD PRODUCCION PROPUESTA}$$

$$INDICE EFICACIA = \frac{PRODUCCIÓN REAL ACTIVO FISICO}{PRODUCCIÓN AL MEJOR ACTIVO FISICO COMPETENCIA}$$

$$INICE EFECTIVIDAD = \frac{VALOR LOGRADO ACTIVO FISICO}{VALOR LOGRADO AL MEJOR A. FISICO COMPETENCIA}$$

$$EFICACIA = \frac{VELOCIDAD PRODUCCIÓN ACTIVO FISICO}{VELOCIDAD PRODUCCION AL MEJOR A. FISICO COMPETENCIA}$$

12. EFECTIVIDAD Y INDICE DE EFECTIVIDAD:

DEFINICIÓN: Hacer las cosas de eficiente y eficaz.

- Grado de obtención de resultados y de logros de efectos en relación con los objetivos planteados y los costos implicados.
- Cuantificación del logro de las metas
- Esa hacer bien las cosas.

ATRIBUTOS:

- Atributos de eficiencia
- Atributos de eficacia

$$EFECTIVIDAD = EFICIENCIA * EFICACIA$$

$$EFECTIVIDAD = \frac{RESULTADOS}{RECURSOS} * \frac{VALOR LOGRADO}{VALOR PROPUESTO}$$

13. CORROSIÓN HUMEDAD Ó SECA Y COEFICIENTE DE ESPESORES

La palabra “corroer” se deriva del latín *corrodere*, que significa “roer las piezas”. Se define la corrosión en general, como la destrucción lenta y progresiva de un metal por la acción de un agente exterior. Uno de los factores que limitan la vida de las piezas metálicas en servicio es el ataque químico o físico-químico que sufren en el medio que les rodea que produce un deterioro del material y de sus propiedades.

El hierro y sus aleaciones son hoy por hoy el material metálico más utilizado para la construcción de infraestructura en el mundo, debido a su costo, disponibilidad y alta resistencia mecánica. Sin embargo, es bastante sensible a la corrosión y por ello debe ser protegido a través de la aplicación de distintos métodos.

Tipos de Corrosión

- Corrosión Uniforme
- Corrosión Galvánica
- Corrosión Intergranular
- Corrosión Picado o Pitting Corrosión
- Corrosión por grietas
- Corrosión Selectiva
- Corrosión por erosión
- Corrosión Biológica
- Corrosión Fretting o por rozamiento
- Corrosión baño por hidrogeno

La corrosión trae consecuencias económicas en costos:

- Reemplazo o rediseño de máquinas, equipos o componentes
- Mantenimiento preventivo
- Sobre diseño
- Paralización de la planta
- Contaminación de productos
- Daños a equipos adyacentes
- Perdida de eficiencia
- Interrupción de comunicaciones

La velocidad es un factor decisivo de la vida útil de los equipos, componentes, debido a que los materiales empeoran considerablemente tras sufrir corrosión.

Corrosión uniforme:

Se presenta cuando el material no exhibe diferencias en su microestructura y el ambiente que lo rodea tiene una composición uniforme.

- Es un ataque homogéneo
- Permite calcular la vida útil
- Permite un deterioro aceptable
- Uno de los parámetros más importante para su evaluación representa la medición de la velocidad de la corrosión.
- Al conocer la velocidad de rapidez podemos contar con predicciones fidedignas.

La vida útil remanente se cuantifica según dato tomado de la Tabla 7 con una velocidad de corrosión de resistencia buena de 0.35 mm/año, con una sección crítica de 7 mm de espesor de pared de un acero SAE 1020.

Tabla 11: Velocidad de Corrosión

Resistencia	pmy	mm/y
	milipulgadas /año	(mm/año)
Excepcional	<1	<0.02
Excelente	1-5	0.02-0.1
Bueno	5-20	0.1-0.5
Aceptable	20-50	0.5-1.0
Pobre	50-200	1.0-5.0
Inaceptable	>200	>5.0

Fuente: Universidad de Cadiz España, 2016

La siguiente ecuación nos permite calcular la velocidad de corrosión y de tal manera su vida útil.

$$V_{corr} = \frac{KxW}{AxTxD}$$

Dónde:

$V_{\text{Corrosión}}$: Velocidad de corrosión mm/y (milímetros por año), mpy (milipulgadas por año).

K: Constante.

T: Tiempo de exposición, medida con una precisión de 0.01 horas.

A: Área en cm^2 , con una precisión de 0.01 cm^2 .

W: Pérdida de peso en gramos, con una precisión de 1 mg.

D: Densidad del metal o de la aleación en gr/cm^3 .

VALORES K

UNIDADES V_{corr}

3.45×10^6 ----- mpy (milipulgadas por año)

8.76×10^4 mm/y (milímetros por año)

Luego construimos los factores de escala por corrosión con los datos mencionados en el párrafo anterior, en la Tabla 8.

Tabla 12: Escala de Evaluación del Factor Corrosión de Espesor de Pared 7 mm

Escala de clasificación	Tiempo de uso en años	Factor correspondiente Método Factorial
Bueno	0	1.00
Bueno	1.00	0.95
Bueno	2.00	0.90
Bueno	3.00	0.85
Bueno	4.00	0.80
Regular	5.00	0.75
Regular	6.00	0.70
Regular	7.00	0.65
Regular	8.00	0.60
Regular	9.00	0.55
Regular	10.00	0.50
Malo	11.00	0.45
Malo	12.00	0.40
Malo	14.00	0.30
Malo	16.00	0.20
Malo	18.00	0.10

Fuente:Elaboración propia

14. USO O RELACIÓN DE USO

El equipo a través del tiempo experimenta cambios físicos y a su vez funcional, que delimitan su rendimiento o desempeño y por ende, no cumple con la demanda o expectativas por la cual fue adquirida inicialmente, esto lleva a la empresa a buscar

nuevas alternativas de inversión luego de que un análisis de reemplazo arroje resultados que indique el camino a seguir por la empresa para adquirir o tal vez repotenciar dicho equipo.

El perfil edad eficiencia contiene información acerca de la capacidad productiva del activo a través del tiempo y provee la clave para medir los servicios de capital, la contribución del activo a la producción.

Un punto central es que este procedimiento implica que el perfil edad-eficiencia para un componente *como un todo* es diferente del perfil edad-eficiencia de un activo individual. La Tabla 10 muestra esta diferencia para la función lineal edad-eficiencia usada y para una función log-normal de retiro.

$$RELACION DE USO = \frac{100}{VIDA ÚTIL}$$

Tabla 13: Factor de Relación de Uso de los Activos Físicos en el Tiempo

Vida Útil Años	Depreciación 1 Años	Depreciación 8 Años	Depreciación 16 Años	Factor Relación de Uso (16 Años)	Perfil Edad-Eficiencia Log-Normal 16 Años
				Factor Relación de Uso	Factor Relación de Uso
0	--	--	0.06	0.94	1.00
1	--	--	0.13	0.87	0.91
2	--	--	0.19	0.81	0.89
3	--	--	0.25	0.75	0.87
4	--	--	0.31	0.69	0.84
5	--	--	0.38	0.62	0.80
7	--	--	0.44	0.56	0.75
6	--	0.00	0.50	0.50	0.70
8	--	0.13	0.56	0.44	0.63
9	--	0.25	0.63	0.37	0.54
10	--	0.38	0.69	0.31	0.44
11	--	0.50	0.75	0.25	0.33
12	--	0.63	0.81	0.19	0.21
13	--	0.75	0.88	0.12	0.10
14	0.00	0.88	0.94	0.06	0.03
15	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00

Fuente: OCDE,2009

15. INDICADOR ROI: RETORNO DE LA INVERSIÓN O RETURN ON INVESTMENT

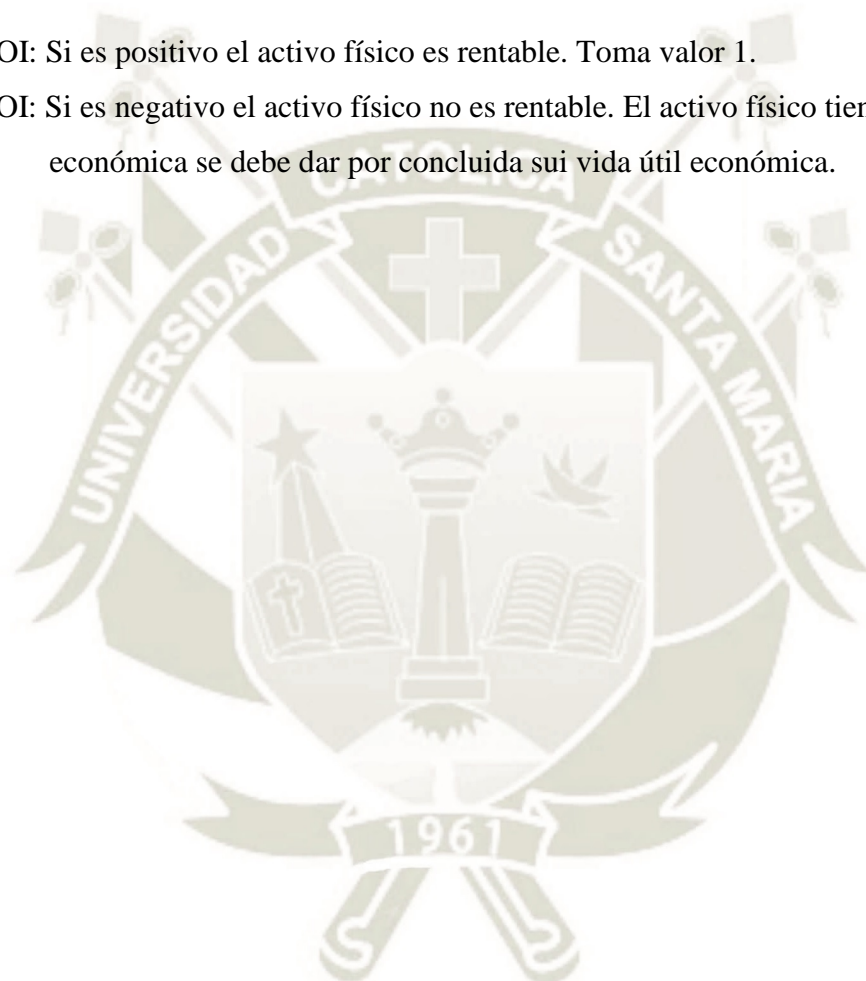
Es un indicador financiero.

$$\text{ROI} = \frac{\text{BENEFICIO} - \text{INVERSIÓN}}{\text{INVERSIÓN}}$$

Donde:

ROI: Si es positivo el activo físico es rentable. Toma valor 1.

ROI: Si es negativo el activo físico no es rentable. El activo físico tiene obsolescencia económica se debe dar por concluida su vida útil económica.





ANEXO 2: MATRIZ DE CONSISTENCIA

ANEXO 3: PESO DE LOS COMPONENTES Y SISTEMAS DE EQUIPO MECÁNICO POR PROCESO JERÁRQUICO ANALÍTICO

PROCESO JERARQUICO ANALÍTICO

El Proceso Jerárquico Analítico (PJA) puede ser utilizado para una amplia variedad de aplicaciones:

- Planeación estratégica
- Asignación de recursos
- Selección de proveedores
- Políticas de negocios/publica
- Selección de proyectos
- Y mucha mas

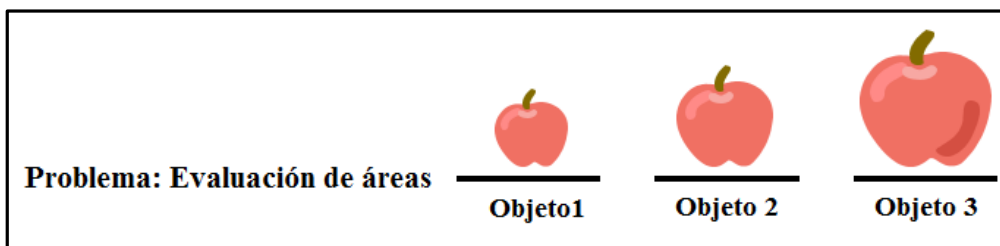
Para aplicar el PJA a un problema específico de determinación de pesos se deben realizar los siguientes pasos:

1. Obtener una matriz de comparaciones por pares utilizando la tabla siguiente
2. Encontrar el valor característico (eigenvalor) máximo λ_{\max} . Si es cercano a n , la dimensión de la matriz, entonces proceder con el paso 3. en caso contrario, revisar la matriz de comparaciones de pares.
3. Encontrar el valor característico (eigenvector) correspondiente al máximo valor característico. Este valor proporciona los pesos para cada factor. Los pesos pueden normalizarse para obtener pesos cuya suma de 1.

$$RC = \frac{\lambda_{max} - 1}{n - 1} = \text{Razón Consistencia} \leq 10\%$$

Ejemplo: Matriz de comparación

Dados: tres objetos de diferente tamaño.

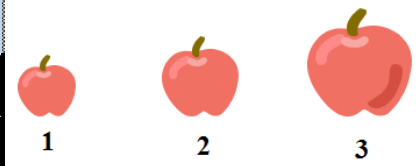


COMPARACIÓN DE AREAS	OBJETO 1	OBJETO 2	OBJETO 3
OBJETO 1	A1/A1	A1/A2	A1/A3
OBJETO 2	A2/A1	A2/A2	A2/A3
OBJETO 3	A3/A1	A3/A2	A3/A3

ESCALA DE COMPARACIÓN PARA A PAR

INTENSIDAD DE IMPORTANCIA	DEFINICIÓN	EXPLICACIÓN
1	Igualmente importante	Dos actividades contribuyen igualmente al objetivo
3	Moderadamente importante	La experiencia y el juicio favorecen ligeramente a una actividad sobre otra
5	Fuertemente o esencialmente importante	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente una actividad sobre otra
7	Muy fuertemente importante	Una actividad esta favorecida fuertemente y su dominio se demuestra en la práctica
9	Extremadamente importante	La evidencia que favorece a una actividad sobre otra es de más alto orden posible de eficacia
2, 4, 6, 8, 10	Valores intermedios	Cuando se necesita un compromiso

	OBJETO 1	OBJETO 2	OBJETO 3
OBJETO 1	1/1	1/3	1/5
OBJETO 2	3/1	1/1	1/2
OBJETO 3	5/1	2/1	1/1



1. Matriz en decimales

1.0000	0.3333	0.2000
3.0000	1.0000	0.5000
5.0000	2.0000	1.0000

MATRIZ ELEVAR AL CUADRADO

1.0000	0.3333	0.2000
3.0000	1.0000	0.5000
5.0000	2.0000	1.0000

1.0000	0.3333	0.2000
3.0000	1.0000	0.5000
5.0000	2.0000	1.0000

3.0000 +	1.0667+	0.5667
8.5000 +	3.0000+	1.6000
16.0000 +	5.6667 +	3.0000

= 4.6333

0.1093 Criterio Menos Importante

= 13.1000

NORMALIZAMOS 0.3090 Criterio Segundo de Importancia

= 24.667

0.5818 Criterio más Importante

24.6667



**ANEXO 4: SELECCIÓN DE LOS FACTORES TÉCNICOS Y
OPERACIONALES**

Tabla 1: Selección de los Factores Técnicos para Estimación de Vida Útil por Proceso Jerárquico Analítico-PJA

	CALIDAD DEL MATERIAL	DISEÑO DE EQUIPOS	NIVEL DE MANTENIMIENTO	TECNOLOGÍA Y OBSOLESCENCIA	OBSOLESCENCIA COMERCIAL	APARIENCIA FISICA Y ESTADO
CALIDAD DEL MATERIAL	1/1	6/9	5/8	6/9	6/3	8/3
DISEÑO DE EQUIPOS	9/6	1/1	9/8	5/7	7/3	7/3
NIVEL DE MANTENIMIENTO	8/5	8/9	1/1	9/6	9/4	9/3
TECNOLOGIA Y OBSOLESCENCIA	9/6	7/5	6/9	1/1	8/3	9/3
OBSOLESCENCIA COMERCIAL	3/6	3/7	4/9	3/8	1/1	4/1
APARIENCIA FISICA Y ESTADO	3/8	3/7	3/9	3/9	1/4	1/1
PESO DEL FACTOR	53.21	65.21	69.09	65.34	33.24	18.06
NORMALIZAR PESO DEL FACTOR	0.17	0.21	0.23	0.21	0.11	0.06

Fuente. Elaboración propia

Tabla 2: Selección de los Factores Operacionales para Estimación de Vida Útil por Proceso Jerárquico Analítico-PJA

	CONDICIONES AMBIENTALES	CONDICIONES DE OPERACIÓN Y OBSOLESCENCIA	OBSOLESCENCIA ECONOMICA	CONDICIONES DE USO	ESTADO DE DESEMPEÑO
CONDICIONES AMBIENTALES	1/1	5/7	5/9	5/2	5/3
CONDICIONES DE OPERACIÓN Y OBSOLESCENCIA	7/5	1/1	7/9	8/3	9/4
OBSOLESCENCIA ECONOMICA	9/5	9/7	1/1	9/2	9/3
CONDICIONES DE USO	2/5	3/8	2/9	1/1	2/4
ESTADO DE DESEMPEÑO	3/5	4/9	3/9	4/2	1/1
PESO DEL FACTOR	34.80	43.51	62.64	14.27	24.02
NORMALIZAR PESO DEL FACTOR	0.19	0.24	0.35	0.08	0.13

Fuente. Elaboración propia