

PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN RCM PARA
ASCENSORES DE PASAJEROS DE ACCIONAMIENTO ELÉCTRICO
CUMPLIENDO CON NORMATIVIDAD NTC 5926-1

KEVIN EDUARDO TORRES HERNANDEZ

JUAN CAMILO CALDERON BELTRAN

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA

2019

PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN RCM PARA
ASCENSORES DE PASAJEROS DE ACCIONAMIENTO ELÉCTRICO
CUMPLIENDO CON NORMATIVIDAD NTC 5926-1

KEVIN EDUARDO TORRES HERNANDEZ

JUAN CAMILO CALDERON BELTRAN

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR EL TÍTULO DE ESPECIALISTA EN
GERENCIA DE MANTENIMIENTO

DIRECTOR

DANIEL ORTIZ PLATA

INGENIERO MECANICO – ESPECIALISTA EN GERENCIA DE
MANTENIMIENTO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECAÑICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA

2019

DEDICATORIA

A Dios por permitirnos tener la posibilidad de culminar satisfactoriamente nuestro postgrado en Gerencia de Mantenimiento y guiarnos durante este proyecto.

A nuestras familias que siempre han estado presentes en nuestras vidas ayudando a conseguir cada uno de nuestros objetivos.

AGRADECIMIENTOS

Al ingeniero Daniel Ortiz Plata por el apoyo brindado durante la ejecución de este trabajo de tesis, pero sobre todo por confiar en nosotros.

A la Facultad de Ingeniería Físico - mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, Especialización en Gerencia de Mantenimiento.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	18
1. CONTEXTUALIZACIÓN DEL PROBLEMA	19
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	19
1.2 JUSTIFICACION DEL PROYECTO	21
2. OBJETIVOS.....	22
2.1 OBJETIVO GENERAL	22
2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	22
3. MARCO CONCEPTUAL	23
3.1 GENERALIDADES DE LOS ASCENSORES.....	23
3.1.1 Historia de los ascensores.	23
3.1.2 Clasificación de los ascensores.	26
2.1.2.2 Ascensores hidráulicos.	29
3.1.3 Principales componentes de los ascensores eléctricos.	30
3.1.3.1 Grupo Tractor.....	30
3.1.3.2 El motor eléctrico..	31
3.1.3.3 El freno.....	31
3.1.3.4 Elementos de suspensión de carga.	31
3.1.3.5 Guías o rieles de Cabina y Contrapeso.	32
3.1.3.6 La cabina..	33
3.1.3.8 Limitador de Velocidad.....	34
3.1.3.10 Amortiguadores de Foso.....	36
3.1.3.11 Puertas.....	37
3.1.3.12 Cuadro de Maniobra..	37
3.1.3.13 Dispositivos para los usuarios.....	38
3.1.3.14 Dispositivos para el mantenimiento.	38
3.2 MANTENIMIENTO BASADO EN CONFIABILIDAD RCM	38
3.2.1 Antecedentes de la filosofía RCM.	38

3.2.2 Metas y objetivos a alcanzar con la metodología RCM..	42
3.2.3 Fases de implementación de la metodología RCM.....	43
3.2.3.1 Fase 1.....	43
3.2.3.2 Fase 2.....	44
3.2.3.3 Fase 3.....	44
3.2.3.4 Fase 4.....	44
3.2.3.5 Fase 5.....	44
3.2.3.6 Fase 6.....	45
3.2.3.7 Fase 7.....	45
3.2.3.8 Fase 8.....	46
3.2.3.9 Fase 9.....	47
3.2.3.10 Fase 10.....	47
3.2.4 Definición de funciones en el modelo RCM	48
3.2.4.1 Funciones Primarias.....	48
3.2.4.2 Funciones Secundarias.....	48
3.2.5 Fallas funcionales.....	48
3.2.6 Modos de falla.....	49
3.2.7 Análisis de consecuencias (efectos) y de riesgos (criticidad).....	50
3.2.8 Tipos de tareas de mantenimiento.....	51
3.2.8.1 Tareas Predictivas	51
3.2.8.2 Tareas Preventivas	52
3.2.8.3 Tareas para búsqueda de Fallos.....	52
3.2.8.4 Tareas Correctivas.....	52
3.2.8.5 Tareas de Rediseño.....	52
4. MARCO LEGAL.....	53
4.1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN DE LA NTC 5926-1.....	53
4.1.1 Clasificación de defectos.....	54
4.1.1.1 Defectos leves (L).....	54
4.1.1.2 Defectos graves (G).....	54
4.1.1.3 Defectos muy graves (MG):	54

4.1.2 Resultados de la inspección de ascensores eléctricos e hidráulicos..	55
4.1.2.1 Cumple sin defectos.	55
4.1.2.2 Cumple, con defectos leves.	55
4.1.2.3 Condicionada, con defectos graves.	55
4.1.2.4 No cumple, con defectos muy graves.	55
4.1.3 Pre-requisitos para la inspección..	55
4.1.3.1 Recursos técnicos.....	56
4.1.3.2 Medios humanos.....	56
4.1.4 Perfil del Inspector del organismo de inspección..	56
4.1.4.1 Titulación básica y experiencia.:	56
4.1.4.2 Capacitación.	57
4.1.4.3 Certificación en trabajo de alturas.....	57
4.1.4.4 Conocimientos específicos.	57
4.2. OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN DE LA NORMA NTC 17020:2012.....	57
4.2.1 REQUISITOS GENERALES	58
4.2.1.1 Imparcialidad.....	58
4.2.1.2 Confidencialidad..	58
4.2.2 Requisitos relativos de la estructura.	58
4.2.2.1 Requisitos administrativos.	58
4.2.2.2 Organización y Gestión.....	59
4.2.3 Requisitos relativos de los recursos.....	59
4.2.3.1 Personal.....	59
4.2.3.2 Instalaciones y Equipos..	60
4.2.3.3 Subcontratación..	60
4.2.4 Requisitos de los procesos.	60
4.2.4.1 Métodos y procedimientos de inspección.	60
4.2.4.2 Tratamiento de los ítems de inspección y de muestras.....	60
4.2.4.3 Registro de inspección.....	61
4.2.4.4 Informes de inspección y certificación de inspección.....	61
4.2.4.5 Quejas y apelaciones.....	61

4.2.5 Tipos de organismos de inspeccion.....	61
4.2.5.1 Organismo tipo A.	61
4.2.5.2 Organismo tipo B.	61
4.2.5.3 Organismo tipo C.	61
4.3. OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN DE LA NORMA SAE JA 1011 (CRITERIOS DE EVALUACION PARA PROCESOS DE RCM)	62
4.3.1 Tareas por condición:	62
4.3.2 Tarea de sustitución programada.	62
4.3.3 Tareas programadas de restauración..	62
4.3.4 Tarea búsqueda de fallos.....	63
5. RECOPIACION Y ANALISIS DE LA INFORMACION.....	64
5.1. DEFINICIÓN DE SISTEMAS	64
5.2 SISTEMA MECANICO	65
5.2.1 Guías..	65
5.2.1.1 Entradas.....	65
5.2.1.2 Salidas.	65
5.2.1.3 Componentes.....	65
5.2.2 Suspensión.	66
5.2.2.1 Entradas.....	66
5.2.2.2 Salidas.	66
5.2.2.3 Componentes.....	66
5.2.3 Amortiguación..	67
5.2.3.1 Entradas.....	67
5.2.3.2 Salidas.	67
5.2.3.4 Componentes.....	67
5.2.4 Análisis AMFE sistema mecánico.	67
5.3 SISTEMA ELECTRICO.....	74
5.3.1 Entradas.....	74
5.3.2 Salidas..	74
5.3.3 Componentes.....	74

5.3.4 Análisis AMFE del sistema eléctrico.	75
5.4 SISTEMA DE CONTROL.....	80
5.4.1 Entradas.....	81
5.4.2 Salidas..	81
5.4.3 Componentes.....	81
5.4.3.1 Microprocesador programable o tarjeta MAIN..	81
5.4.3.2 Variadores de frecuencia o velocidad.	82
5.4.3.3 Sensor de puertas.....	82
5.4.3.4 Sensores inductivos de pantallas o nivel de piso.....	83
5.4.3.5 Celda o Sensor de sobrecarga.	83
5.4.3.6 Encoder.....	84
5.4.3.7 Operador de puertas.	84
5.4.3.8 Micros de línea de seguridad..	84
5.4.3.9 Periféricos.	84
5.4.4 Análisis AMFE del sistema de control.....	84
5.5 MODELO DE MANTENIMIENTO MEDIANTE TABLAS DE DECISION	92
5.5.1 Sistema Mecánico.....	94
5.5.2 Sistema eléctrico.....	96
5.5.3. Sistema de control.	98
5.6 ANALISIS DE CRITICIDAD	102
6. LISTADO DE PROCEDIMIENTOS PARA TRABAJO SEGURO	107
6.1 PROCEDIMIENTOS BASICOS	107
6.1.1 Procedimiento seguro para acceso/salida del techo de cabina.	107
6.1.2 Procedimiento de seguridad para acceso/salida del pozo del elevador.....	109
6.1.3 Poniendo el elevador fuera de servicio.	110
6.2 PROCEDIMIENTOS ESPECIFICOS	110
6.2.1 Elevador ubicado entre pisos (entre pisado) debido a interrupción de la cadena de seguridad en el techo de la cabina.	110
6.2.2 Inspección visual, detección de fallas y ajuste de operación de freno.....	113
6.2.3 Recuperar un elevador de una condición de sobre-viaje.	114

7.EVALUACION DE LA NORMA NTC 5926-1.....	116
7.1. PROPUESTA DE MEJORA EN LOS LITERALES DE LA NORMA NTC 5926-1	116
8. CONCLUSIONES	118
BIBLIOGRAFIA.....	119

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Metas perseguidas por el RCM.....	41
Tabla 2. Consecuencias de los fallos.....	44
Tabla 3. Tareas preventivas y tareas de rediseño.....	46
Tabla 4. Análisis AMFE Sistema mecánico.....	67
Tabla 5. Análisis AMFE Sistema Eléctrico.....	76
Tabla 6. Análisis AMFE Sistema de control.....	85
Tabla 7. Hoja de decisión Sistema mecánico.....	94
Tabla 8. Hoja de decisión Sistema eléctrico.....	96
Tabla 9. Hoja de decisión Sistema de control.....	98
Tabla 10. Matriz de criticidad.....	102
Tabla 11. Análisis de criticidad del sistema eléctrico.....	104
Tabla 12. Análisis de criticidad del sistema mecánico.....	105
Tabla 13. Análisis de criticidad del sistema de control.....	106

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Instalación Típica de ascensor sin cuarto de máquina.....	28
Figura 2. Instalación típica de ascensor con cuarto de máquinas.....	28
Figura 3. Instalación típica de un ascensor hidráulico.....	29
Figura 4. Instalación de contrapeso en guías.....	32
Figura 5. La cabina.....	33
Figura 6. Limitador de velocidad.....	35
Figura 7. Paracaídas de accionamiento mecánico.....	36
Figura 8. Fases de la implementación del RCM.....	47
Figura 9. Ejemplo de Análisis de Criticidad.....	51
Figura 10. Sistemas de un ascensor eléctrico.....	64
Figura 11. Algoritmo de decisión RCM.....	92
Figura 12. Tareas Proactivas.....	93
Figura 13. Tareas a falta de.....	93
Figura 14. Árbol de decisión de criticidad.....	103

RESUMEN

TITULO:

PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN RCM PARA ASCENSORES DE PASAJEROS DE ACCIONAMIENTO ELÉCTRICO CUMPLIENDO CON NORMATIVIDAD NTC 5926-1*

AUTOR:

KEVIN EDUARDO TORRES HERNANDEZ**
JUAN CAMILO CALDERON BELTRAN**

PALABRAS CLAVE:

RCM, MODOS DE FALLA, EFECTOS DE FALLA, MANTENIMIENTO, ASCENSORES, NTC 5926-1

CONTENIDO:

Este documento se enfoca en darle solución mediante el uso del RCM a los problemas técnicos que puede presentar un ascensor de accionamiento eléctrico durante su vida útil. El mantenimiento a esta clase de equipos exige una alta confiabilidad ya que son máquinas que transportan vidas humanas en un espacio reducido y alturas elevadas.

La implementación de la metodología RCM permite desarrollar habilidades de análisis y fomenta en el técnico de mantenimiento el desarrollo de actividades mediante el seguimiento de procedimientos. La búsqueda de fallas ocultas y la constante retroalimentación de fallas funcionales y modos de falla permite crear y mantener un sistema en continua mejora que garantiza alta confiabilidad en los equipos.

La filosofía del mantenimiento basado en confiabilidad permite hacer un análisis exhaustivo de todos los componentes del elevador, identificando inicialmente sus sistemas y componentes, funciones, fallas funcionales y modos de falla, esta herramienta es conocida como análisis AMFE. El análisis AMFE establece las bases para diseñar y ejecutar una hoja de decisión clara y efectiva con la cual obtendremos un plan de mantenimiento eficiente y confiable

Las tareas resultantes plasmadas en el plan de mantenimiento deben ser ejecutadas por personal calificado y con altos conocimientos en los procedimientos técnicos, ya que la precisión y seguridad son requeridas para no comprometer la seguridad del técnico de mantenimiento ni de los usuarios.

*Monografía de grado

**Facultad de ingenierías Físico – Mecánicas. Especialización en Gerencia de Mantenimiento.
Director: Daniel Ortiz Plata

ABSTRACT

TITLE:

PROPOSAL FOR MAINTENANCE PLAN BASED ON RCM FOR ELECTRICALLY OPERATED PASSENGER ELEVATORS FULFILLING WITH NORMATIVITY NTC 5926-1*

AUTHOR:

KEVIN EDUARDO TORRES HERNANDEZ**
JUAN CAMILO CALDERON BELTRAN**

KEYWORDS:

RCM, FAILURE MODES, FAILURE EFFECTS, MAINTENANCE, ELEVATORS, NTC 5926-1

CONTENTS:

This document focuses on solving the technical problems that an electric drive elevator would have during its useful life by using the RCM. Maintenance of this kind of equipment requires high reliability since they are machines that transport human lives in a small space and high heights.

The implementation of the RCM methodology allows the development of analysis skills and encourages the maintenance technician to develop activities by following procedures. The search for hidden faults and the constant feedback of functional faults and failure modes allows to create and maintain a system in continuous improvement that guarantees high reliability in the equipment.

The philosophy of maintenance centered on reliability allows an exhaustive analysis of all elevator components, safely identifying its systems and components, functions, functional failures and failure modes, this tool is known as FMEA analysis. The FMEA analysis establishes the basis for designing and executing a clear and effective decision worksheet with which we will obtain an efficient and reliable maintenance plan.

The resulting tasks embodied in the maintenance plan must be carried out by qualified personnel with high knowledge in technical procedures, since precision and safety are required so as not to compromise the safety of the maintenance technician or the users.

*Monograph

**Physical – Mechanical Faculty. Maintenance Management Specialization. Director Daniel Plata Ortiz

INTRODUCCIÓN

El crecimiento de la industria de la construcción en el mundo ha ido de la mano con el desarrollo tecnológico de los equipos de transporte vertical, como lo son los ascensores. El concepto de ascensor existe desde tiempos inmemorables, porque el hombre ha sentido la necesidad de elevar objetos y buscar formas seguras y rápidas de conseguirlo. La evolución de los ascensores en los últimos años ha revolucionado el sistema de transporte vertical en el mundo, permitiendo contar con tecnología de punta en estos equipos, y con un abanico amplio de posibilidades para transportar pasajeros o simplemente carga. Se han desarrollado ascensores eléctricos, hidráulicos y con cuarto de máquinas o sin ellos, brindando soluciones a las necesidades de los constructores de edificaciones.

Los ascensores de pasajeros han permitido la vida en rascacielos. Si no fuera por el ascensor, ¿cómo podríamos vivir o trabajar en el 32º piso de un edificio? Los ascensores son la razón por la que existen las ciudades tal como las conocemos hoy.

Los ascensores cuentan con sistemas de seguridad robustos y fiables que permite mover pasajeros o carga rápidamente entre pisos con confianza y tranquilidad. Sin embargo, estos sistemas requieren de planes de mantenimiento mensuales y eficaces con el fin de siempre estar disponibles en caso de emergencias. En esta monografía se realiza un análisis a cada uno de los sistemas que conforman al ascensor eléctrico de pasajeros, y se analizan cuáles podrían ser sus posibles fallas funcionales, para las cuales se proponen tareas de mantenimiento periódicas basadas en la filosofía de mantenimiento basado en Confiabilidad RCM, en donde además se analiza la criticidad de los componentes. Por último, se proponen planes de mantenimiento y de capacitación que salvaguarden la seguridad tanto de los usuarios como del personal encarga de realizar las actividades de mantenimiento mensual

1. CONTEXTUALIZACIÓN DEL PROBLEMA

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Un ascensor o elevador es un sistema de transporte vertical, cuya principal función es mover o desplazar personas u objetos entre los diferentes niveles de una edificación o estructura, ofreciendo una mayor accesibilidad a personas que tienen una movilidad reducida. Están conformados por sistemas mecánicos, electrónicos y eléctricos, que funcionan en conjunto para ponerlo en marcha.

Desde hace algunos años atrás la demanda del transporte vertical en Colombia ha crecido de manera exponencial, debido al auge en el sector de la construcción y a que las nuevas normas de construcción exigen que los conjuntos y proyectos de vivienda de interés (VIS) se doten con ascensores cuando estas edificaciones tienen más de 5 pisos¹. Esta misma norma rige para centros comerciales y otro tipo de construcciones como hospitales y clínicas.

La cantidad de personas que utilizan este medio de transporte para llegar a los pisos elevados o para garantizar accesibilidad a individuos con dificultades de movilidad, se incrementa año tras año. Sin embargo, el desconocimiento por parte de constructores, propietarios o administradores de las edificaciones referente a la instalación, uso adecuado y mantenimiento de estos equipos se ha convertido en uno de los principales factores que han conllevado a accidentes en el país, en las que ha habido pérdidas de vidas humanas.

Otro factor relevante que ha sido causal directa de las tragedias y accidentes ocurridos en los últimos años en el país es la ausencia o carencia de algunas compañías de ascensores de contar con procedimientos estándares de trabajo y

¹ (Consejo de Bogotá, Decreto 20 de 1995)

rutinas de mantenimiento preventivo documentadas y de ejecución obligatoria mensualmente, de cara a garantizar la seguridad de los usuarios que se transportan en los ascensores.

Dadas las circunstancias y a varios accidentes, desde el 2011 se expidió en Bogotá el Decreto 663 que hace obligatoria la revisión anual en esta ciudad de los equipos de transporte vertical, esto con el fin de que al ser usados tengan un correcto funcionamiento. La inspección y certificación de los equipos por normatividad debe hacerla un organismo acreditado por el Organismo Nacional de Acreditaciones de Colombia – ONAC y tiene como prioridad reducir incidentes potenciales, los cuales tienen como principales causas fallas en el fluido eléctrico, falta de mantenimiento, uso inadecuado y ausencia de señalización. A la fecha es obligatorio solamente estas certificaciones en Bogotá² y Cartagena³, sin embargo, varias ciudades en el país están evaluando optar por incluir la obligatoriedad de estas inspecciones.

A pesar de las inspecciones y certificaciones que se han llevado a cabo en los ascensores por los entes acreditados por la ONAC, guiados bajo la norma colombiana NTC 5926-1, han continuado los accidentes a nivel nacional, lo cual evidencia y es muestra tangible que dicha normativa adolece de ciertos criterios y alcances.

² (Consejo de Bogotá, Decreto 663 de 2011)

³ (Consejo Distrital de Cartagena de Indias, Acuerdo 16 29 de Noviembre de 2016)

1.2 JUSTIFICACION DEL PROYECTO

En Colombia, solo en el 2018 se reportaron cuatro accidentes graves: El 5 de enero se presentaron dos víctimas fatales y otros heridos al descolgarse el ascensor del palacio de justicia desde el piso 6 hasta el sótano⁴, el 17 de marzo el ascensor de la Colegiatura de Medellín se descolgó lesionando de esta manera a 4 estudiantes⁵ y el 20 de junio dos personas fallecieron por accidentes en ascensores en las ciudades de Medellín y Santa Marta.

Entre enero de 2014 y julio de 2015 se presentaron 286 emergencias por atrapamientos en la ciudad de Bogotá, de las cuales el 55% causadas por fallas mecánicas, el 17% debido a mantenimiento inadecuado y el 23 % restante a fallas en el fluido eléctrico. Según el IDIGER (Instituto Distrital de Gestión de riesgos y cambio climático) en Bogotá entre el año 2014 y 2017 se presentaron 53 lesionados adultos, tres personas fallecidas y 9 niños lesionados⁶.

Analizando estas cifras se puede determinar qué la ejecución de mantenimientos precarios o inadecuados, acompañados de la poca capacitación del personal que lo ejecuta y de controles vagos por parte de los organismos municipales, contribuyen a estos accidentes que colocan en riesgo la vida y seguridad de los usuarios.

Por lo tanto, la siguiente propuesta de monografía toma importancia ya que plantea una mejora en la normatividad vigente y propone un plan de mantenimiento basado en RCM eficiente y garante de la seguridad tanto de sus ejecutores y como de los usuarios.

⁴ (El Tiempo, 2018)

⁵ (Hoyos, 2018)

⁶ (La FM, 2017)

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar plan de mantenimiento basado en filosofía RCM para ascensores de pasajeros de accionamiento eléctrico cumpliendo con la norma NTC 5926-1.

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. Dividir en sistemas y subsistemas los ascensores de pasajeros de accionamiento eléctrico.
2. Definir las funciones, fallas funcionales y modos de falla de los sistemas en los ascensores de pasajeros de accionamiento eléctrico
3. Definir tareas de mantenimiento adecuadas para la prevención de los diferentes modos de falla de los sistemas.
4. Plantear procedimientos estándares de trabajo seguro para la ejecución de actividades de mantenimiento.
5. Identificar numerales de la norma NTC 5926-1 que carecen de criterios y alcances, y proponer una acción de mejora.

3. MARCO CONCEPTUAL

3.1 GENERALIDADES DE LOS ASCENSORES

3.1.1 Historia de los ascensores. Todo inició con el montacargas. El origen del montacargas se remonta a miles de años atrás, cuando mediante el uso de sistemas de poleas, y cabrestantes se extraía agua y se levantaban materiales para la construcción. Los investigadores admiten que 2.000 años a.C. se emplearon montacargas y sistemas de elevación para la construcción de grandes pirámides como las de Egipto, la torre de Babel, y grandes templos.

Sin embargo, el origen del primer ascensor puede establecerse en las obras del arquitecto romano Vitrubio, donde se documenta que su uso procede de Grecia en el año 236 a.C. cuando el físico, matemático Arquímedes inventó un primer mecanismo elevador que hacía uso de poleas movidas por el hombre y cuerdas de cáñamo para su funcionamiento. Estos dispositivos se usaron para la construcción del palacio del emperador romano Nerón. De igual forma, se cree que se utilizaron grandes montacargas para la construcción del coliseo Romano, el Monasterio de San Barlaam en Grecia (Construido sobre altas cumbres).

A principios del Siglo XIX James Watt inventó la máquina de vapor. Es a raíz de la invención de la máquina de vapor y el inicio de la revolución industrial cuando se desarrolla la gran evolución del transporte vertical. Los elevadores comenzaron a ser movidos o elevados mediante vapor, y no haciendo uso de la fuerza del hombre y/o animales. En 1835 comienza en Inglaterra el uso industrial de ascensores movidos por máquinas de vapor para levantar cargas en una fábrica. Diez años más tarde, William Thompson diseña el primer ascensor hidráulico empleando la presión del agua corriente.

En 1853 se produjo un gran avance cuando Elisha Graves Otis resolvió el problema del fallo del cable⁷, el principal problema que afectaba a los ascensores de esa época. Otis instaló en el ascensor un dispositivo de seguridad para evitar la rotura del cable al que denominó freno de seguridad (el equivalente del dispositivo de seguridad moderno). Con el freno de seguridad de Otis, en caso de rotura del cable, un resorte obligaría a un trinquete a engranarse en unas barras de hierro dentadas sujetando así la cabina.

Mientras tanto, en Inglaterra Frost y Stutt desarrollaron en 1853 un ascensor del tipo de contrapeso accionado mediante tracción al que denominaron "Teagle" (aparejo para elevación)⁸. Este elevador de accionamiento hidráulico contemplaba ya el concepto de la polea de tracción con contrapeso, aspecto que se aplica en nuestros días en la mayor parte de los ascensores. El accionamiento era llevado a cabo por los propios usuarios que desplazaban el cable manualmente desde la cabina. El método de elevación desarrollado por Frost y Stutt y el freno de seguridad desarrollado por Otis ofrecieron mecanismos de seguridad esenciales para los ascensores y sentaron las bases para la aparición del ascensor seguro.

En 1880 el inventor alemán Werner von Siemens introdujo el motor eléctrico en la industria de elevadores⁹. En su invento, la cabina, que sostenía el motor debajo, subía por el hueco mediante engranajes de piñones giratorios que accionaban los soportes en los lados del hueco. Pocos años más tarde, en 1889, Norton Otis, hijo del pionero Elisha, desarrolló un ascensor eléctrico, el primer ascensor del mundo accionado mediante corriente continua, y lo instaló en el Edificio Demarest Carriage

⁷ (Crawford, 2012)

⁸ (Mitsubishi Electric, 2018)

⁹ (Agencia Sinc, 2016)

en la Quinta Avenida de Nueva York, que funcionaba con un motor eléctrico que hacía girar un tambor giratorio en el que se enrollaba la cuerda de izado.

Poco después, en la década de 1900, se introdujo el motor de inducción para corriente alterna, y aparecieron en Estados Unidos los modelos de ascensor con corriente de tracción. Con este método, la cabina estaba conectada a un contrapeso mediante un cable y una polea empleando corriente de tracción, permitiendo con un pequeño motor eléctrico desplazar la cabina verticalmente a distancias considerables, lo cual contribuyó elevar cabinas en edificios de gran altura. Para la fecha la empresa Otis Elevator introdujo un sistema multivoltaje de corriente continua de precisión mejorando la calidad del desplazamiento.

Los grandes avances en los sistemas electrónicos que se realizaron a partir de la II guerra mundial dieron como resultado cambios e introducción de nuevas tecnologías en la instalación de ascensores. Se instalaron ordenadores, computadoras y tarjetas electrónicas posteriormente para analizar automáticamente la información, mejorando el rendimiento de estos equipos en los grandes edificios. El uso de equipamiento de programación automática eliminó la necesidad de motores de arranque en la planta baja de los edificios, logrando que el funcionamiento de los ascensores se hiciera completamente automático.

En la actualidad, los ascensores son sistemas automatizados con complejos sistemas de control, controlados por PLC's, lo cual permite tener sin número de ascensores trabajando en paralelo y a la vez, eliminando los tradicionales gigantescos tableros de control con miles de relés y temporizadores.

Los ascensores actualmente cuentan con sistemas regenerativos de ahorro del consumo de energía (amigable con el medio ambiente), gracias a la incorporación de imanes permanentes en los motores y variadores de frecuencia o velocidad. Las redes de ascensores instalados en un proyecto pueden ser monitoreados vía

internet, permitiendo a las compañías de mantenimiento realizar inspecciones y rutinas de control en línea y en tiempo real. Los cables de tracción han sido reemplazados por materiales sintéticos de mayor resistencia y duración, como lo son las cintas de tracción. Las cabinas cuentan con sistemas de control que permiten reconocer el idioma del usuario que hace uso del equipo, sin necesidad de pulsar un botón.

Los ascensores han evolucionado desde sus inicios, y continuaran evolucionando, siendo parte del desarrollo arquitectónico de las ciudades a nivel mundial. Por tanto, las rutinas de mantenimiento para este tipo de dispositivos deben de igual forma evolucionar, con procedimientos estándares de trabajo y rutinas de mantenimiento preventivo documentadas y de ejecución obligatoria mensualmente, de cara a garantizar la seguridad de los usuarios que se transportan en los ascensores.

3.1.2 Clasificación de los ascensores. Entendemos por ascensor todo aquel sistema de transporte vertical diseñado para transportar personas o bienes entre niveles fijos, mediante el movimiento vertical de una cabina, que se desplaza por unas guías con una inclinación máxima de 15°. Los ascensores pueden clasificarse según su uso y tecnología como hidráulicos y eléctricos. Los ascensores eléctricos se usan principalmente para el transporte de pasajeros, a grandes alturas y altas velocidades, a diferencia de los ascensores hidráulicos que se usan para transporte de cargas pesadas a bajas velocidades.

3.1.2.1 Ascensores eléctricos. El motor eléctrico se conecta directamente mediante un acople a la máquina de tracción o a través de un sistema reductor, permitiendo imprimir al eje de la polea tractora la velocidad y torque para el desplazamiento de la cabina. Basa su funcionamiento en la adherencia del sistema de suspensión de carga (cables de acero o cintas sintéticas de tracción) con la polea de tracción, que suspende de un extremo la cabina y al otro el contrapeso (que tienen una masa de igual peso que la cabina, más la mitad de la carga máxima

permitida o autorizada). Mediante la fricción producida por las zapatas de un freno electromecánico se logra detener el ascensor cuando cesa el suministro eléctrico al motor.

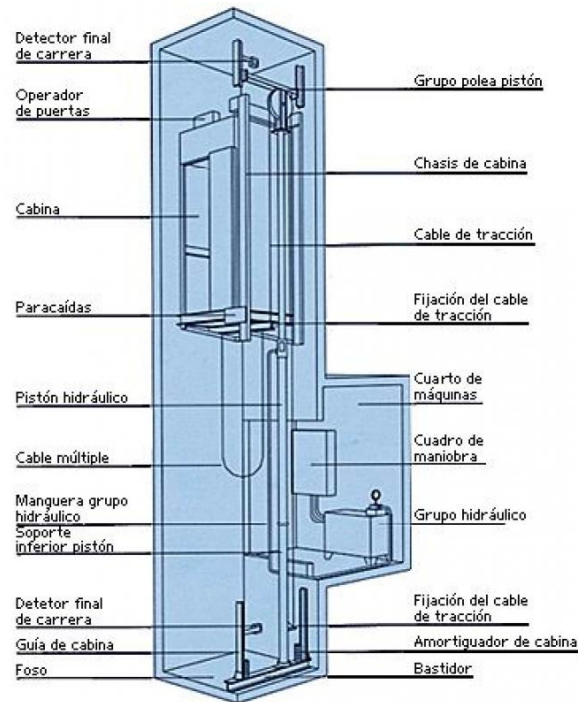
Los ascensores eléctricos pueden instalarse con o sin cuarto de máquinas. Los ascensores sin cuarto de máquinas ofrecen las siguientes ventajas:

Se elimina el cuarto de máquinas, lo cual conlleva a mejor aprovechamiento de la superficie útil de la edificación.

- Mejora la estética de las cubiertas de los ascensores.
- Ahorro de costos constructivos.
- Mejor aprovechamiento energético.
- Mayor confort.
- Mayor precisión en la nivelación.

El reducido tamaño de la polea de tracción permite que la maquina tractora sea montada en el propio pozo, eliminando la necesidad de un voluminoso cuarto de máquinas en lo alto de la edificación.

Figura 1. Instalación Típica de ascensor sin cuarto de maquinas



Fuente: ENINTER ASCENSORES. Partes del ascensor. [En línea] Disponible en <https://www.eninter.com/blog/partes-del-ascensor/>

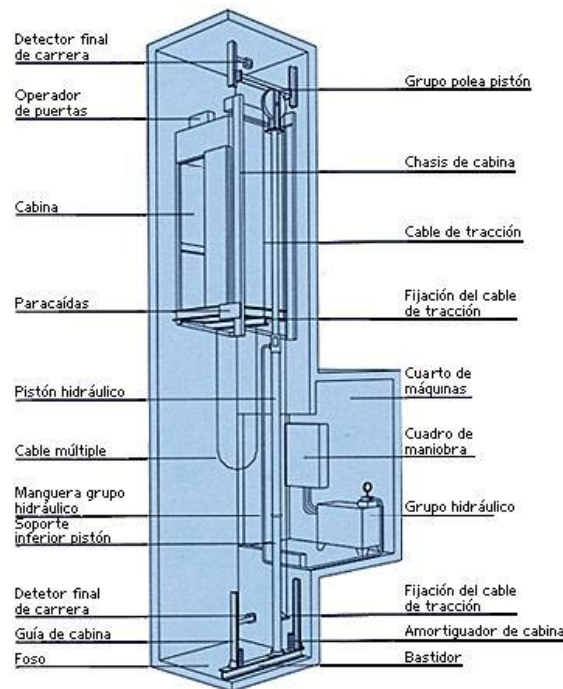
Figura 2. Instalación típica de ascensor con cuarto de maquinas



Fuente: ACCER ASCENSORES. Modelos de ascensores. [En línea]. Disponible en <https://ascensoresaccer.com/modelos-de-ascensores/>

2.1.2.2 Ascensores hidráulicos. Con el sistema de accionamiento de tipo hidráulico la unidad de accionamiento hidráulico empuja el aceite hacia el actuador hidráulico (un émbolo y un cilindro combinados) y el émbolo impulsa la cabina hacia arriba usando la energía acumulada en el aceite a presión. La cabina desciende automáticamente (mediante la fuerza de gravedad) cuando el aceite retorna al cilindro a lo largo de la misma ruta, por tanto, los sistemas hidráulicos no consumen energía para la bajada, más sin embargo si requieren de un alto consumo de energía para la subida, lo que supone una gran desventaja comparativa con los ascensores eléctricos.

Figura 3. Instalación típica de un ascensor hidráulico



Fuente: ENINTER ASCENSORES. Partes del ascensor. [En línea] Disponible en <https://www.eninter.com/blog/partes-del-ascensor/>

Los ascensores hidráulicos son utilizados para aplicaciones que requieren transportar o mover grandes cargas con poca altura y velocidad, debido a que no permiten grandes velocidades ni recorridos. El control de los flujos de aceite se

realiza por medio de un conjunto de válvulas eléctricas o electromecánicas, que a su vez son accionadas por la maniobra, y permiten abrir o cerrar el circuito hidráulico para la inyección o no de aceite.

Al igual que los ascensores eléctricos, existen ascensores hidráulicos con cuarto de máquinas y sin cuarto de máquinas. Los cuartos de máquinas se pueden situar en cualquier lugar del edificio hasta un máximo de 15 metros de distancia de la vertical del hueco. En los ascensores sin cuarto de máquinas, el cuadro de maniobra, el tanque de aceite y las válvulas se sitúan en un gabinete de reducidas dimensiones, permitiendo ahorros en costos para los constructores.

Entre las ventajas que ofrecen los ascensores eléctricos frente a los hidráulicos se destacan las siguientes:

- Mayor velocidad.
- Mayor recorrido.
- Nivelación precisa.
- Menor consumo de energía.
- No utilizan aceite.

3.1.3 Principales componentes de los ascensores eléctricos.

3.1.3.1 Grupo Tractor. El grupo tractor en los ascensores se encuentra conformado por tres partes fundamentales como lo son la máquina, el motor y el freno. Estos mecanismos permiten generar la energía requerida para producir el movimiento y la parada del ascensor.

3.1.3.2 El motor eléctrico. Es el encargado de generar un movimiento rotativo, el cual se transmite a la maquina mediante un acople y un sistema reductor, permitiendo imprimir al eje de la polea de tracción la velocidad y torque para el desplazamiento vertical de la cabina. El movimiento de la cabina se genera por adherencia entre la polea y los cables de acero o cintas de tracción, que se conectan por un extremo a la cabina y por el otro al contrapeso. Las máquinas de los ascensores son del tipo con engranajes o sin engranajes, según la velocidad que se requiere (Las maquinas sin engranajes permiten velocidades mayores y no requieren de lubricación interna).

3.1.3.3 El freno. Es un dispositivo normalmente cerrado, que se acciona por un electroimán o bobina, que, al ser excitado por una corriente, abre el mismo. Al ser un dispositivo normalmente cerrado, se garantiza que en caso de emergencia (como por ejemplo corte de energía), el ascensor automáticamente se frene mediante la fricción que generan sus zapatas al tambor de la máquina.

3.1.3.4 Elementos de suspensión de carga. Hace referencia a los cables de tracción que soportan la carga de la cabina y del contrapeso. En sus inicios, la suspensión de carga se realizaba mediante cuerdas de esparto o cáñamo, luego fueron sustituidas por cadenas metálicas y posteriormente por cables de acero trenzado. Los actuales medios de suspensión y tracción contienen múltiples cordones internos metálicos con un recubrimiento sintético exterior, y se conocen como cintas de tracción. Estas cintas de tracción generan ventajas ante los tradicionales cables acerados porque permite:

- Más espacio útil para las cabinas en el mismo hueco al permitir un diseño con poleas de tracción de menor dimensiones.
- Mayor confort por disminución de ruidos y vibraciones.

- Disminución en el consumo energético, al existir menor coeficiente de fricción entre la polea de tracción y las cintas de tracción respecto a los cables trenzados.

3.1.3.5 Guías o rieles de Cabina y Contrapeso. Las guías son rieles metálicos en forma de T que se encajan en el chasis que rodea la cabina y el contrapeso, permitiendo mantener su verticalidad y soportar los esfuerzos de los frenos de seguridad (paracaídas). Las guías, de perfiles metálicos en T, se unen a las paredes o estructura mecánica del hueco, permitiendo dar la rigidez necesaria al conjunto o edificación, y guiar el recorrido del ascensor por todo el ducto. En la figura 4 se puede observar como la estructura de color blanco del contrapeso se instala en los rieles de color negro.

Figura 4. Instalación de contrapeso en guías.



Fuente: ASCENSORES LEVEL. Chasis de cabina y contrapeso. [En línea] Disponible en https://fotos.habitissimo.es/foto/chasis-de-cabina-y-contrapeso_1698376

La alineación correcta de las guías es el factor fundamental para un buen confort durante el trayecto. El ruido y la fricción se mitigan con deslizaderas y rodaderas que amortiguan el paso del bastidor de la cabina sobre las guías.

3.1.3.6 La cabina. Es un cajón o recinto resistente a los impactos, ignífugo, aireado e iluminado en el cual viajan los usuarios. Debe cumplir con unos requisitos de seguridad y fiabilidad que garanticen la integridad de los usuarios ante los movimientos al que pueda estar sometida. Se desplaza por las guías o rieles utilizando unas rozaderas o rodaderas, conocidas como zapatas. En la parte superior permite el movimiento en maniobra de revisión para las labores del personal de mantenimiento como se muestra en la figura 5.

Figura 5. La Cabina



Fuente: HINOJOSA, Jesús. Las ayudas para instalar ascensores se concederán a partir de julio. [En línea]. Disponible en <https://www.diariosur.es/malaga-capital/201605/17/ayudas-para-instalar-ascensores-20160516221133.html>.

Las cabinas cuentan con puertas que impiden acceder al hueco por el que circula el ascensor, con una alarma para situaciones de emergencia (que permite comunicarse con la portería), y una fotocelda que no permite que las puertas se cierren antes de tiempo y golpeen a los pasajeros.

De igual forma, las cabinas cuentan con un display o indicador de posición que indica en que piso se encuentra ubicada en todo momento, y una botonera interior que permite al usuario ordenar al sistema en que piso o planta debe detenerse. La botonera debe ser instalada a una altura adecuada para los usuarios en silla de ruedas. Es habitual que también se instalen espejos para permitir a las personas en

silla de rueda tener visualización de la salida y para quienes sufren de miedo a los espacios cerrados, ya que permite una sensación de amplitud. En su exterior, la cabina esta reforzada por un bastidor o chasis de hierro que la rodea, y de la cual tiran los cables de acero trenzado o cintas de tracción del sistema.

3.1.3.7 Contrapeso. Es una masa fabricada en hierro u hormigón y de forma rectangular cuya principal función es compensar el peso de la cabina. El contrapeso se coloca en el lado opuesto del dispositivo de suspensión de carga, y se desplaza por unas guías (al igual que la cabina), su presencia permite que el motor no deba verse obligado a mover el total de la carga, permitiendo un ahorro de energía considerable. Los contrapesos cuentan con zapatas o rodaderas que permiten que se desplacen por los rieles, además cuentan con aceiteras que lubrican dichos rieles para disminuir la fricción y garantizar un óptimo confort.

3.1.3.8 Limitador de Velocidad. El sistema de limitador de velocidad se constituye de dos poleas, una instalada en la sala de máquinas o en el hueco del ascensor parte superior así como se muestra en la figura 6, y otra alineada o aplomada verticalmente con la primera en la parte inferior o foso del hueco del ascensor (conocido también como pit).

Ambas se mueven solidariamente con la cabina mediante un cable conectado a ellas, un extremo del mencionado cable se une a un punto fijo de la cabina y el otro a un mecanismo de palancas (conocido también como paracaídas) que puede estar tanto en la parte superior como inferior del chasis o bastidor de la cabina. El cable del limitador de velocidad es independiente a los cables de acero trenzado para la tracción, por tanto, no hace la función de sujetar la cabina.

Figura 6. Limitador de velocidad



Fuente: PASCUAL, Jota. Componentes de seguridad en un ascensor. [En línea]. Disponible en <http://ascensoresjpascual.blogspot.com/2014/03/componentes-de-seguridad-en-un-ascensor.html>

Cuando la velocidad del ascensor supera el 25% de la velocidad nominal, la polea del limitador gira a mayor velocidad de la fijada, generando que se frene automáticamente dicha polea y generando la inmovilización del cable del limitador. El cable se ocupa de parar la cabina actuando las cuñas del sistema de paracaídas o mordazas, y clavando la cabina en las guías. Simultáneamente el motor se apaga y deja de funcionar.

3.1.3.9 Sistema de cuñas o paracaídas. Este componente es quizás uno de los más importantes que componen al ascensor, pues se encarga de detener la caída de la cabina en caso de que se revienten o partan los cables y/o cintas de tracción, o que la cabina por cualquiera razón rebase un 25% de la velocidad nominal. Este sistema de frenado conlleva a que el sistema de cuñas se ancle a los rieles. En la figura 7 observamos que lateralmente se instala la guía y la barra metálica se encarga de transmitir el movimiento al paracaídas del otro costado. Por tanto, es de gran importancia que el sistema de paracaídas se instale de forma adecuada, y que se realicen pruebas de su aplicación y chequeos rutinarios en el mantenimiento preventivo, con el fin de garantizar su funcionalidad al momento de requerirse. Se

recomienda revisar el sistema de cuñas o paracaídas por lo menos una vez al año según fabricante.

Figura 7. Paracaídas de accionamiento mecánico



Fuente: DYNATECH ELEVATION. Sistema de fijación RENO. [En línea] Disponible en https://www.dynatech-elevation.com/reno_es_99.htm

3.1.3.10 Amortiguadores de Foso. Para evitar, a velocidad nominal, que un fallo de la información de posición de la cabina provoque un choque mecánico brusco, es obligatorio colocar en los topes de cabina y contrapeso con el foso unos amortiguadores o resortes metálicos, que garantizan una desaceleración controlada en estos casos de emergencia, en pocas palabras si un ascensor no llegase a detenerse los harían los amortiguadores, evitando un accidente en el que pueda haber pérdida de vidas.

Los amortiguadores deben ser colocados sobre una base de concreto que la empresa de ascensores solicita al constructor del edificio. Ellos mismos pueden tener una base. Lo importante es asegurarse que queden instalados a una distancia no mayor de 20 cm desde la parte exterior del bastidor inferior de cabina. Esto permite un sobre recorrido de la cabina o contrapeso antes de activar el amortiguador. Al comienzo de la instalación esta distancia puede ser mayor para permitir un grado de estiramiento de las guayas que ocurre en los primeros 6 meses

de funcionamiento. Cuando hay recorte de guayas por alargamiento se ajusta la distancia entre bastidor y amortiguador.

3.1.3.11 Puertas. Los ascensores se encuentran dotados de puertas de cabina y de pisos o de hall también conocidas.

Las puertas de cabina evitan que el usuario abandone la cabina mientras el ascensor se encuentra en movimiento, por tanto, protege a los usuarios durante el viaje. Por su parte, las puertas de pasillo o hall separan el ducto por dónde se desplaza el ascensor del resto del edificio.

Las puertas de hall y de cabina se acoplan mecánicamente, mediante un dispositivo conocido como leva retráctil o avión, permitiendo la apertura y cierre de forma conjunta. Las puertas de cabina cuentan con un mecanismo de reversión y sensores fotoeléctricos o fotoceldas para revertir el cierre y evitar atrapamientos.

3.1.3.12 Cuadro de Maniobra. El cuadro de maniobra o control se encuentra equipado por una serie de sensores y periféricos que brindan información en tiempo real del ascensor, como su velocidad, posición, apertura o cierre de puertas y paros.

El control de maniobra controla todos los movimientos del ascensor, de la gestión de entradas (peticiones de usuarios, controles de seguridad y alimentación) y salidas (control del viaje, posicionales, tiempos de espera).

Los ascensores cuentan además con una serie eléctrica de seguridad, que monitorea las cerraduras de las puertas de cabina y de hall, el limitador de velocidad, el paracaídas, los frenos, la activación de los límites superiores o inferiores y de los botones de stop o paros de emergencia. De igual forma estos equipos cuentan con un sistema de autodiagnóstico que además de brindar información, facilita la detección y eliminación de fallas.

3.1.3.13 Dispositivos para los usuarios. Informan al control cuando un usuario requiere un ascensor y donde quiere llegar. Entre estos dispositivos se destacan además de las botoneras de cabina y de hall, los indicadores luminosos, las alarmas sonoras, y llaves o tarjetas de control de acceso.

3.1.3.14 Dispositivos para el mantenimiento. Los ascensores se encuentran equipados de dispositivos que permiten efectuar al personal de mantenimiento ejecutarlo de forma adecuada, correcta y sobretodo seguro. En los ascensores es obligatoria la instalación de estos dispositivos para garantizar la integridad y seguridad del personal que realiza la intervención técnica y de mantenimiento. Entre los dispositivos se destacan los siguientes:

- Botonera de revisión o inspección en el techo de la cabina.
- Barandales encima del techo de la cabina para evitar caídas.
- Iluminación en el ducto o hueco del ascensor.
- Botón de Stop o parada de emergencia en el cuarto de máquinas y en el foso o pit.
- Escalera de acceso al foso o pit.
- Mando para mover en modo inspección y automático el ascensor desde el control, y desde adentro de la cabina.

3.2 MANTENIMIENTO BASADO EN CONFIABILIDAD RCM

3.2.1 Antecedentes de la filosofía RCM. La situación actual y futura del entorno de cualquier empresa presenta cambios y retos cada vez más considerables por factores como el incremento de la competitividad, disminución del ciclo de vida de los productos, necesidad de polivalencia y flexibilidad de los procesos, excelencia en el servicio con altos estándares de calidad y fabricación sincronizada que garantice grandes volúmenes de producción.

Para poder afrontar estos cambios es necesario actuar sobre las organizaciones. Las organizaciones deben evolucionar hacia la creación de equipos multidisciplinarios que optimicen la confiabilidad operacional, estableciendo las actividades más efectivas de mantenimiento, en función de la criticidad de los activos, y teniendo en cuenta los posibles efectos que originaran los modos de fallas relacionados con dichos activos, al medio ambiente, a la seguridad y los procesos operacionales.

Una de las técnicas organizativas más actuales para aplicar en mantenimiento y mejorar considerablemente sus resultados es la del mantenimiento basado en confiabilidad (RCM). El RCM es un método organizado y lógico para construir o modificar un plan de mantenimiento conservando un óptimo costo¹⁰ con base a los siguientes aspectos:

- Preservar las funciones de los equipos y/o sistemas.
- Evitar, reducir o eliminar las consecuencias asociadas a las fallas.
- Construir defensas efectivas contra fallas, con costos benéficos para la compañía.
- Priorizar técnicas de mantenimiento predictivo y de condición.
- Extender el ciclo de vida de los equipos.
- Disponer con el apoyo activo y cooperación del personal de la organización e información que permitan identificar los modos de falla de los equipos.
- Análisis y definición de la frecuencia de las tareas predictivas, teniendo en cuenta los periodos de evolución de las fallas funcionales.

¹⁰ PLATA ORTIZ, Daniel. Módulo de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Universidad Industrial de Santander. Texto guía especialización en gerencia de mantenimiento. 2017

- Optimizar la disponibilidad de los equipos, garantizando los costos, la seguridad y protección del medio ambiente.
- Planear, ejecutar y verificar tareas o planes de trabajo teniendo en cuenta las condiciones ambientales, operativas, mantenibilidad y requerimientos de los clientes.
- Participación activa y eficaz por parte de los fabricantes de los equipos.

El RCM se implementa sobre la base de pasos muy planificados e interrelacionados. Primeramente, se deben determinar las metas de productividad y de mejora definidos por la dirección o gerencia de la empresa, entre los cuales se destacan los costos de operación, mantenibilidad y fiabilidad de los equipos. Posteriormente se deben evaluar los métodos y/o acciones aplicadas para alcanzar las metas propuestas y los efectos de las averías o de los fallos. Teniendo claridad sobre las metas y las acciones requeridas para alcanzarlas, se debe determinar mediante un trabajo interdisciplinario los modos de fallas más factibles y la manera más adecuada y eficaz para eliminar o reducir las consecuencias de cada fallo. En determinados casos, el análisis de fallos asociados con el análisis de costos conlleva a tomar la decisión que el equipo continúe funcionando hasta que falle, y no hacer ningún tipo de mantenimiento preventivo. En otros casos, se induce a que el equipo continúe trabajando hasta que falle, pero con un sistema alternativo en paralelo, cuya incorporación es más económica que realizar el periódico mantenimiento preventivo.

En la década de 1960 empezó a analizarse esta técnica por parte de la industria aeronáutica norteamericana y se aplicó por primera vez a gran escala al mantenimiento del Boeing 747; luego fue usada para el DC-10 y así fue extendiéndose a gran parte de la aeronáutica. Los resultados tardaron años en concretarse, pero fueron sorprendentes, a tal punto que de revisar 339 elementos en la revisión general programada de los DC-8 se pasó a solo siete elementos. En

la década de 1970 la industria militar también comenzó a utilizar la metodología RCM y luego, en 1982, el EPRI (Electric Power Research Institute) la empieza a aplicar en la industria nuclear.

Esta metodología fue documentada por primera vez en un reporte escrito por F.S. Nowlan y H.F. Heap y publicada por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos de América en 1978. Desde entonces, el RCM ha sido usado para ayudar a formular estrategias de gestión de activos físicos en prácticamente todas las áreas de la actividad humana organizada, y en prácticamente todos los países industrializados del mundo. Este proceso definido por Nowlan y Heap ha servido de base para varios documentos de aplicación en los cuales el proceso RCM ha sido desarrollado y refinado en los años siguientes. Muchos de estos documentos conservan los elementos clave del proceso original. Sin embargo, el uso extendido del nombre “RCM” ha llevado al surgimiento de un gran número de metodologías de análisis de fallos que difieren significativamente del original, pero que sus autores también llaman “RCM”. Muchos de estos otros procesos fallan en alcanzar los objetivos de Nowlan y Heap, y algunos son incluso contraproducentes.

Como resultado de la demanda internacional por una norma que establezca unos criterios mínimos para que un proceso de análisis de fallos pueda ser llamado “RCM” surgió en 1999 la norma SAE JA 1011 y en el año 2002 la norma SAE JA 1012. No intentan ser un manual ni una guía de procedimientos, sino que simplemente establecen, como se ha dicho, unos criterios que debe satisfacer una metodología para que pueda llamarse RCM.

Según la norma SAE J1011 (Criterios de evaluación para procesos de mantenimiento centrado en confiabilidad) el RCM es un proceso específico usado para identificar las políticas que deben ser implementadas para administrar los modos de falla que pueden causar una falla funcional de un activo físico dado en un contexto operativo.

3.2.2 Metas y objetivos a alcanzar con la metodología RCM. A continuación, en la tabla No. 1 se exponen algunos de los beneficios a obtener de la implantación de la metodología RCM.

Tabla 1. Metas perseguidas por el RCM

BENEFICIOS A PERSEGUIR COMO METAS EN UN MANTENIMIENTO BASADO EN CONFIABILIDAD RCM				
COSTOS	SERVICIO	CALIDAD	TIEMPO	RIESGOS
Reducir los niveles y costos del mantenimiento preventivo rutinario de 10 a 40%	Conocer mejor los requerimientos de servicio del cliente.	Incremento de disponibilidad por menor preventivo y menor correctivo.	Reducción en las paradas programadas para grandes revisiones.	Mayor aseguramiento de la integridad de la seguridad y el entorno.
Definir directrices y objetivos concretos para sustituir mantenimientos preventivos rutinarios por predictivos.	Reducir las averías con especial incidencia en las que repercuten en el servicio.	Documentación adecuada del cambio y sistema auditable por terceros.	Tiempos de reparación más cortos por mejor conocimiento del sistema o equipos.	Reducción de riesgos asociados a las tareas rutinarias.
Reducir las paradas en producción de forma rentable haciendo reingeniería.	Mejor comunicación entre mantenimiento y producción.	Eliminación de fallos crónicos.	Intervalos más largos entre paradas por seguimientos predictivos.	Reducción de la probabilidad de fallos múltiples y análisis de fallos ocultos y sus causas.

La metodología RCM se basa en identificar todos los fallos potenciales que puede tener una instalación, en la identificación de las causas que los provocan y en la

determinación de una serie de medidas preventivas que eviten esos fallos acordes con la importancia de cada uno de ellos, en reducidas palabras es un proceso para determinar las operaciones que se deben ejecutar para que un sistema continúe desempeñando las funciones deseadas en su contexto operacional, bajo parámetros de seguridad, rentabilidad y protección del medio ambiente. A lo largo del proceso se plantean una serie de preguntas clave que deben quedar resueltas:

- ¿Cuáles son las funciones y los estándares de funcionamiento en cada sistema?
- ¿Cómo falla cada equipo?
- ¿Cuál es la causa de cada fallo?
- ¿Qué parámetros monitorizan o alertan de un fallo?
- ¿Qué consecuencias tiene cada fallo?
- ¿Cómo puede evitarse cada fallo?
- ¿Qué debe hacerse si no es posible evitar un fallo?

La solución a estas preguntas para cada uno de los sistemas que componen una instalación industrial conduce a la determinación de los fallos potenciales, las causas de éstos y las medidas preventivas que tendrán que adoptarse.

3.2.3 Fases de implementación de la metodología RCM. El proceso de análisis de fallos e implantación de medidas preventivas atraviesa una serie de fases para cada uno de los sistemas en que puede descomponerse una planta industrial:

3.2.3.1 Fase 1: Definición clara de lo que se pretende implantando RCM. Determinación de indicadores, y valoración de estos antes de iniciar el proceso, con el fin de tener claridad en lo que se quiere que realmente el sistema haga dentro del contexto operacional, lo cual implica conocer verdaderamente los límites o estándares óptimos del mismo.

3.2.3.2 Fase 2: Codificación y listado de todos los sistemas, subsistemas y equipos que componen la planta. Para ello es necesario recopilar esquemas, diagramas funcionales, diagramas lógicos, etc.

3.2.3.3 Fase 3: Estudio detallado del funcionamiento del sistema. Determinación de las especificaciones del sistema, listado de funciones primarias y secundarias del sistema en su conjunto, listado de funciones principales y secundarias de cada subsistema, y análisis de los equipos que componen los sistemas y subsistemas.

3.2.3.4 Fase 4: Determinación de los fallos funcionales y fallos técnicos. Una vez conocidas cuales son las funciones y prestaciones del sistema, hay que identificar y conocer sus fallos, por tanto, se debe identificar una a una las posibilidades de fallo de cada elemento o cada equipo, entendiendo como fallo dejar de realizar las funciones requeridas o estar por fuera de los márgenes y/o límites de trabajo óptimo.

En resumidas cuentas, el fallo funcional a localizar e identificar por el grupo de trabajo de RCM será aquel que implique la incapacidad de cualquier equipo o elemento físico para cumplir un estándar medible de funcionamiento.

3.2.3.5 Fase 5: Determinación de los modos de fallo o causas de cada uno de los fallos encontrados. Tras conocer las funciones y prestaciones, y los fallos funcionales, se debe cuestionar que ocurre cuando falla. Por tanto, es necesario identificar la causa más probable de cada fallo funcional o de cada pérdida de las prestaciones que genera que la maquina o equipo no funcione adecuadamente, a esto se le conoce como modos de fallo. Los modos de fallo deben incluir todas aquellas causas de fallos que hayan ocurrido, las que se están evitando por el mantenimiento preventivo ejecutado, y las que no han ocurrido hasta el momento pero que tienen posibilidad de ocurrir en determinado tiempo.

3.2.3.6 Fase 6: Estudio de las consecuencias de cada modo de fallo. Clasificación de los fallos en críticos, significativos, tolerables o insignificantes en función de esas consecuencias. Se debe determinar cuáles serían las consecuencias del fallo para la seguridad de las personas, el medioambiente, para la producción de energía y el impacto en los costos de las reparaciones.

Para cada fallo se debe registrar de manera rigurosa y ordenada, que pasa si ocurre una determinada avería y, además, que pasaría si ocurriera un modo de fallo o avería asociada, por lo cual no se limitaría a cada fallo individualizado, sino que se abordan los fallos múltiples.

En la tabla 2 se plasman algunas de las consecuencias de los fallos y la gravedad de las mismas:

Tabla 2. Consecuencias de los fallos.

+ G R A V E D A D 	• Consecuencias en la seguridad y el medio ambiente: Cuando se puede herir o matar a alguien, o se infringen normativas relacionadas con el entorno. • Consecuencia de los fallos ocultos: asociadas a dispositivos de seguridad que no son a prueba d fallos o averías y que exponen al sistema a un fallo múltiple de serias o catastróficas consecuencias. • Consecuencias operacionales: cuando afecta la producción (cantidad, calidad, costos operacionales) • Consecuencias no operacionales: cuando afecta solo a la reparación.
--	---

3.2.3.7 Fase 7: Determinación de medidas preventivas que eviten o atenúen los efectos de los fallos. Se deben evaluar los siguientes aspectos con el fin de prevenir los fallos:

- Tipos de medidas preventivas
- Tipos de tareas de mantenimiento a ejecutar
- Relación entre la criticidad y las tareas de mantenimiento
- Frecuencia con la que se realizan las tareas de mantenimiento
- Modificaciones a los equipos para evitar fallos o mejorar su mantenibilidad
- Adopción de medidas tendentes a minimizar los efectos del fallo
- Cambios en procedimientos de operación
- Cambios en procedimientos de mantenimiento

De igual forma se debe realizar un análisis Costo – Beneficio, como se muestra en la siguiente tabla, para conocer las estrategias de mantenimiento a aplicar.

Tabla 3. Tareas preventivas y tareas de rediseño

ESTRATEGIAS DEL MANTENIMIENTO	
TAREAS PREVENTIVAS	A FALTA DE TAREAS PREVENTIVAS VIABLES Y EFICACES.
Mantenimiento predictivo. Mantenimiento preventivo cíclico. Revisiones a intervalos fijos. Sustitución cíclica. Cambios periódicos para revisión en otros niveles de mantenimiento con mínima indisponibilidad.	Búsqueda de fallos ocultos. Rediseño. Modificar los equipos para evitar fallos, modificar los equipos para mejorar su mantenibilidad. No hacer ninguna tarea preventiva y esperar el fallo.

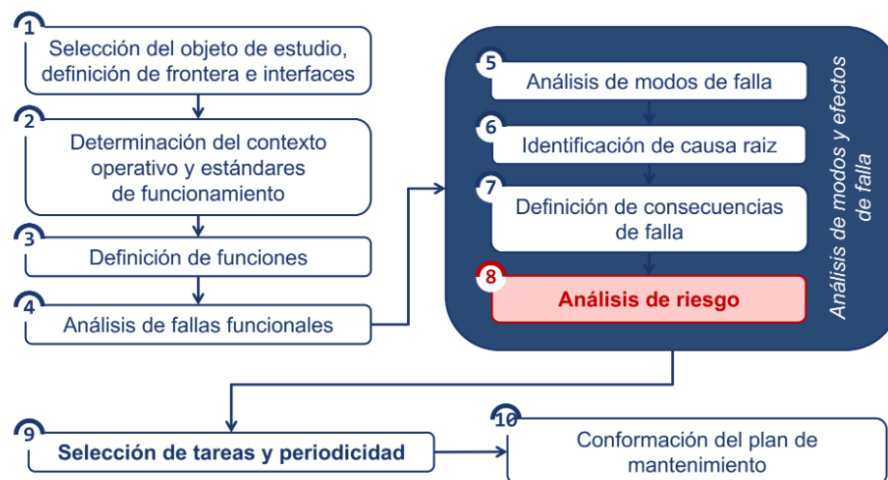
3.2.3.8 Fase 8: Agrupación de las medidas preventivas en sus diferentes categorías: Elaboración del Plan de Mantenimiento, lista de mejoras, planes de formación, procedimientos de operación y de mantenimiento, lista de repuesto que debe permanecer en stock y medidas provisionales a adoptar en caso de fallo.

3.2.3.9 Fase 9: Puesta en marcha de las medidas preventivas.

- Lista de mejoras
- Plan de Mantenimiento
- Elaboración de procedimientos
- Realización de acciones formativas
- Adquisición de repuesto

3.2.3.10 Fase 10: Evaluación de las medidas adoptadas, mediante la valoración de los indicadores seleccionados en la fase 1. En la siguiente imagen podemos observar las fases de implementación del RCM en diagrama de flujo.

Figura 8. Fases de la implementación del RCM



Fuente: PLATA ORTIZ, Daniel. Módulo de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Universidad Industrial de Santander. Texto guía especialización en gerencia de mantenimiento. 2017

3.2.4 Definición de funciones en el modelo RCM

3.2.4.1 Funciones Primarias: Las funciones primarias son la razón del equipo, son su principal objetivo. Por lo general estas funciones se pueden identificar claramente en el nombre del equipo. El estado en donde el equipo no cumple su función, se le llama falla funcional.

3.2.4.2 Funciones Secundarias: Las funciones secundarias usualmente son menos obvias, pero ayudan a la función principal. Este tipo de funciones contextualizan a la función principal, ya que la pueden ubicar en un entorno de higiene, protección, seguridad ambiental, contención, control, economía y eficiencia, etc. A continuación, se mencionan algunas de las características que definen a las funciones secundarias:

- Son menos obvias pero su falla puede tener consecuencias graves.
- Soportan funciones esenciales.
- Permiten el control del equipo o de componentes.
- Generan datos o señales
- Facilitan el monitoreo de condiciones, calibración y alarmas
- Aportan a la economía y eficiencia del proceso

3.2.5 Fallas funcionales. Según la SAE J1011. Estado en el cual un activo físico un sistema es incapaz de realizar una función específica con un nivel de desempeño deseable. Con esta definición podemos inferir que una pérdida de función parcial o total se considera como falla funcional ya que también evaluamos el desempeño del equipo dentro de un rango establecido anteriormente.

Las fallas se deben definir muy claramente para no caer en confusión con otras situaciones que realmente no le corresponden a la maquina sino al proceso operativo, algunas de estas situaciones son sobrecarga sostenida deliberada, sobrecarga sostenida no deliberada, sobrecargas repentinas no intencionadas proceso incorrecto o errores humanos. Existen varios tipos de falla:

- Pérdida total de la capacidad, por tanto, el equipo deja de funcionar y se detiene por completo
- Pérdida parcial de la capacidad. El equipo continúa funcionando más sin embargo el desempeño no es el óptimo, conllevando a que no funcione entre el rango de trabajo adecuado o establecido
- Funcionamiento erróneo, lo cual conlleva a que el equipo realice otro tipo de tareas o funciones diferentes a las establecidas

Estos tipos de fallas pueden clasificarse de igual forma por el momento de su ocurrencia:

- La falla ocurre durante la operación continua del equipo
- La falla ocurre cuando el equipo debe operar en algún momento determinado
- La falla ocurre al momento de detener el funcionamiento del equipo
- La falla ocurre por la operación del equipo cuando no debiera estar operativo

3.2.6 Modos de falla. El modo de falla es un evento que causa una falla funcional. Algunos modos de falla son: Corrosión. Abrasión, erosión, deformaciones, fatiga, oxidación, vibración, sobre voltaje y fugas

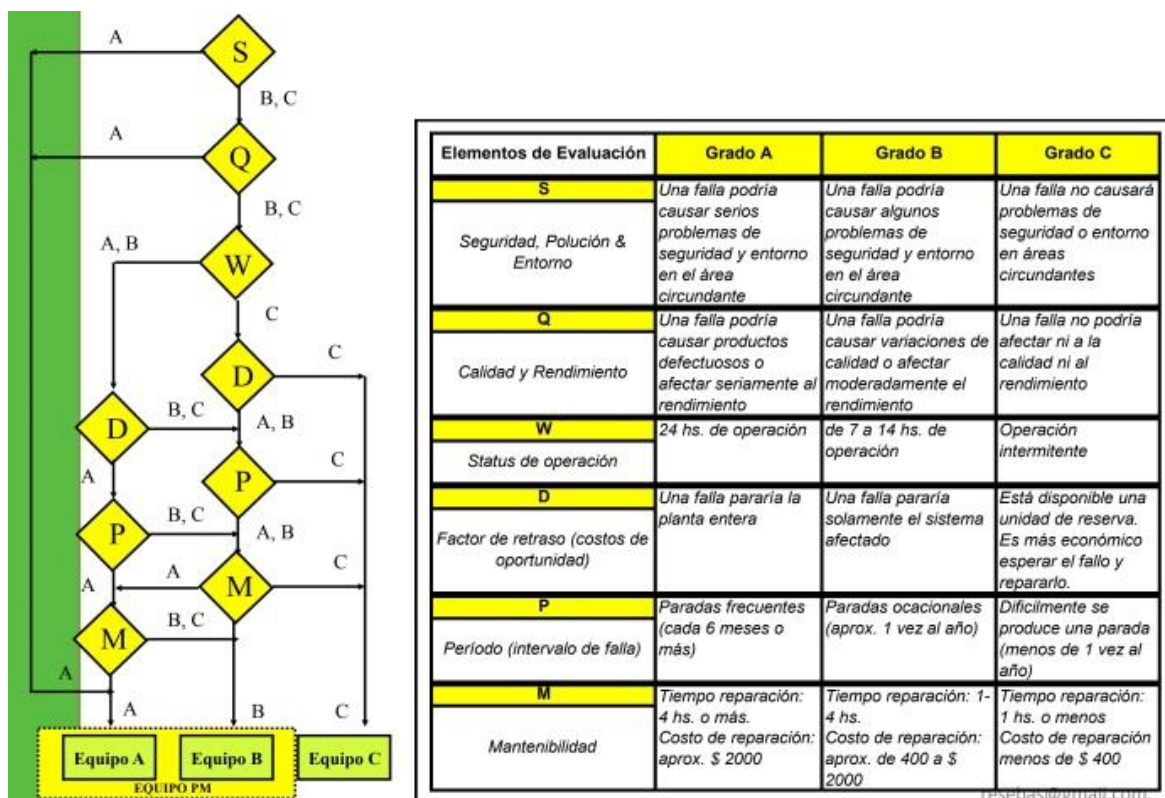
Al momento de describir un modo de falla se debe de dar un detalle que facilite la selección de tareas de mantenimiento y establezca por qué ha ocurrido la falla.

El RCM se aplica para modos de fallas inherentes del equipo, es por eso que modos de falla que corresponden a errores humanos, fallas de materiales o materias primas y errores de diseño no se incluyen dentro del análisis, pero pueden ser tratados de una manera independiente con el objetivo de dejar evidencia de estos modos.

3.2.7 Análisis de consecuencias (efectos) y de riesgos (criticidad). Toda falla tiene un efecto, lo cual genera riesgo al sistema o equipo. El análisis de efectos se inicia con una descripción completa de lo que le sucede al equipo que falla y a los otros equipos que se encuentran interactuando con el equipo en falla. Con la descripción es posible analizar la importancia de cada falla y determinar cuáles son los modos de falla críticos que requieren una tarea de mantenimiento o incluso un rediseño inmediato.

Cada modo de falla debe tener una descripción completa de las consecuencias que genera y la valoración de los riesgos que se sintetice en una matriz sencilla y practica como la que se muestra a continuación.

Figura 9. Ejemplo de Análisis de Criticidad



Fuente: GIRALDO, Sebastián. Mantenimiento Productivo Total. Universidad Industrial de Santander. Texto guía especialización en gerencia de mantenimiento. 2017

3.2.8 Tipos de tareas de mantenimiento

3.2.8.1 Tareas Predictivas: Buscan conocer la condición de los equipos, para definir acciones que eviten la falla funcional y evitar las consecuencias de estas. La frecuencia de una tarea por condición está gobernada por el intervalo de la curva PF.

3.2.8.2 Tareas Preventivas: Son la reparación, el ajuste, tratamiento o limpieza de equipos, a frecuencias determinadas e independientemente de su estado. La frecuencia es determinada por la edad en que el elemento o pieza incrementa su probabilidad de falla. De igual forma estas frecuencias pueden estar determinadas por sugerencias del fabricante del componente.

3.2.8.3 Tareas para búsqueda de Fallos: Consisten en verificar un modo de fallo oculto, con intervalos regulares para verificar si el modo de fallo se ha producido o la función se mantiene normal. Se debe considerar si no es evidente el fallo bajo circunstancias normales. Este tipo de tarea solo se realiza si asegura una disponibilidad de la función oculta.

3.2.8.4 Tareas Correctivas: Estas tareas se pueden ejecutar cuando el modo de falla no produce fallas múltiples con riesgos intolerables, no afectan la seguridad humana y del medio ambiente. Son tareas que se aplican en equipos de fácil recambio y que no entorpecen la operación de la planta.

3.2.8.5 Tareas de Rediseño: Este tipo de tareas se considera cuando se requiere del equipo una confiabilidad superior a la propia o actual, cuando no se puede encontrar tareas de mantenimiento que eviten las fallas o cuando dependiendo de las consecuencias sea más efectivo rediseñar que mantener

4. MARCO LEGAL

4.1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN DE LA NTC 5926-1

Norma Técnica Colombiana NTC 5926-1: Criterios para las inspecciones de ascensores, escaleras mecánicas, andenes móviles y puertas eléctricas. Parte 1: Ascensores electromecánicos e hidráulicos.

Esta norma establece la forma sistemática de actuación por parte del inspector del organismo de inspección, para la realización de las inspecciones previstas por la normativa vigente, a fin de comprobar las condiciones de seguridad de los ascensores.

Esta norma es de aplicación a todos aquellos ascensores eléctricos e hidráulicos, instalados de forma permanente, que sirvan a niveles definidos, y que estén provistos de una cabina destinada al transporte de personas o de personas y objetos, la cual está suspendida mediante cables o cadenas, o sostenida por uno o más pistones y que se desplace al menos parcialmente, a lo largo de guías verticales o con una inclinación sobre la vertical inferior a 15°. Quedan excluidos de la aplicación de esta norma los siguientes aparatos:

- Ascensores utilizados para equipar barcos en instalaciones destinadas a la exploración y explotación en alta mar
- Ascensores instalados en minas o en la manipulación de materias radiactivas

Los aparatos elevadores conocidos bajo las siguientes denominaciones: elevadores de cremallera, elevadores de tornillo, elevadores para máquinas de teatro, aparato de enganche como los stress, ascensores y montacargas de astilleros, de construcción de edificios o de obras públicas, los aparatos de montaje y de entretenimiento.

4.1.1 Clasificación de defectos. Se considera como defecto, toda desviación de las condiciones de seguridad establecidas en la norma., que se detecten como resultado de la inspección. Las no conformidades se clasifican de acuerdo al riesgo que supongan para los usuarios y para las instalaciones, de la siguiente forma.

4.1.1.1 Defectos leves (L). Es todo aquel hallazgo o no conformidad que no representa peligro para las personas y que no incide en el funcionamiento normal del equipo. El plazo máximo para solucionar los defectos leves debe ser de 180 días calendarios, al cumplirse este periodo se debe realizar una nueva inspección y si no han sido corregidos lo defectos leves se considera un dictamen de no cumplimiento y se debe suspender el funcionamiento del equipo.

4.1.1.2 Defectos graves (G). Es todo aquel hallazgo o no conformidad que constituye un riesgo inminente para los usuarios y que podrían generar daños en el equipo. El plazo máximo para solucionar los defectos graves es de 30 días calendario, al cumplirse este periodo se debe realizar una nueva inspección y si no se han corregido los defectos graves se considera un dictamen de no cumplimiento y se debe suspender el funcionamiento del equipo.

4.1.1.3 Defectos muy graves (MG): Es todo aquel hallazgo o no conformidad que representa un riesgo inminente para los usuarios y que puede generar daños al equipo. Estos defectos dan origen a un dictamen de no cumplimiento, y se deberá colocar fuera de servicio el equipo. En el caso que durante la inspección se detecte algún otro defecto, no especificado en la norma, el inspector del organismo de inspección debe evaluarlo conforme a su criterio y consideraciones.

4.1.2 Resultados de la inspección de ascensores eléctricos e hidráulicos. Se llevará a cabo la inspección de los equipos a solicitud de los propietarios, arrendatarios o por parte de la administración, revisando cada ítem de conformidad basado en la norma. Una vez finalizada la inspección del equipo basados en los ítems de la norma, se debe diligenciar el informe de inspección con cuatro copias, siendo destinados para cada una de las partes interesadas (usuario, compañía de ascensores, organismo de inspección y autoridades competentes).

En el informe de inspección se calificarán los defectos detectados, indicando el resultado de la revisión de la siguiente manera:

4.1.2.1 Cumple sin defectos. El equipo queda en funcionamiento o servicio normal.

4.1.2.2 Cumple, con defectos leves. El equipo queda en funcionamiento, no obstante, se deben corregir los defectos o no conformidades lo antes posible y siempre antes de la próxima inspección periódica.

4.1.2.3 Condicionada, con defectos graves. El equipo queda en servicio condicionado, por tanto, se debe corregir los defectos dentro del plazo de 30 días calendario. Se debe realizar una segunda revisión por parte del organismo de inspección para la verificación de la corrección de los defectos graves.

4.1.2.4 No cumple, con defectos muy graves. El equipo debe colocarse fuera de servicio hasta que se subsanen las no conformidades. Posteriormente, se debe realizar una segunda inspección por parte del organismo de certificación para verificar la corrección de los defectos muy graves.

4.1.3 Pre-requisitos para la inspección. Para la ejecución de las inspecciones por parte del organismo de certificación se deben considerar los siguientes medios.

4.1.3.1 Recursos técnicos. Para la inspección de los equipos deben utilizarse instrumentos y herramientas calibradas bajo patrones nacionales o internacionales. Se debe disponer de los elementos de seguridad y salud en el trabajo para la realización de trabajos en alturas. Se deben utilizar si es necesario equipos como medidores de resistencia, taladros y multímetros.

Las instalaciones deben estar limpias, libre de grasa, polvo, aceite y papel para evitar incidentes o accidentes que coloquen en riesgo la integridad del inspector y del personal de mantenimiento que realice el acompañamiento.

4.1.3.2 Medios humanos. Las inspecciones deben realizarse bajo la supervisión de un inspector del organismo de certificación, y podrá hacer uso de personal auxiliar si es requerido.

Durante la inspección el inspector del organismo de certificación debe estar acompañando de personal de la empresa responsable del mantenimiento, quien será el encargado de realizar las operaciones y pruebas para la inspección.

4.1.4 Perfil del Inspector del organismo de inspección. El inspector debe certificar y cumplir por lo menos los siguientes requerimientos.

4.1.4.1 Titulación básica y experiencia. El inspector debe demostrar al menos uno de los siguientes títulos:

- Ingeniero, tecnólogo y/o técnico egresado de una institución avalada por una autoridad competente, en áreas relacionadas con electricidad y mecánica.
- Además, debe tener experiencia mínima de 2 años en instalación y/o mantenimiento de ascensores.

- Bachiller con experiencia en instalación y mantenimiento de ascensores, mínima de 5 años.

4.1.4.2 Capacitación. Los inspectores deben tener conocimiento demostrable en la norma NTC-ISO/IEC 17020 y en la norma NTC 5926-1

4.1.4.3 Certificación en trabajo de alturas. El inspector debe estar certificado para realizar labores en alturas.

4.1.4.4 Conocimientos específicos. El inspector debe tener conocimiento específico en mantenimiento, instalación y ajustes de ascensores, al igual que en equipos de medición de magnitudes eléctricas, longitud e iluminación. El inspector debe tener conocimientos demostrables en interpretación y seguimiento de planos eléctricos.

4.2. OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN DE LA NORMA NTC 17020:2012

Norma técnica colombiana NTC 17020:2012: Evaluación de la conformidad. Requisitos para el funcionamiento de diferentes tipos de organismos que realizan la inspección.

Esta norma internacional cubre las actividades de los organismos de inspección cuya labor puede incluir el examen de materiales, productos, instalaciones, plantas, procesos, procedimientos de trabajo o servicios, y la determinación de su conformidad con los requisitos, así como la subsiguiente emisión del informe de los resultados de estas actividades y su comunicación a los clientes y, cuando se requiera, a las autoridades.

La norma se aplica a todos los organismos de inspección de los tipos A, B o C, los cuales serán descritos más adelante. La norma exige una serie de requisitos los cuales se describen a continuación:

4.2.1 REQUISITOS GENERALES

4.2.1.1 Imparcialidad: La norma responsabiliza a los organismos de inspección a realizar sus actividades de manera imparcial. El organismo está obligado a identificar y valorar el riesgo a su imparcialidad para que de esta forma sea capaz de eliminar o minimizar dicho riesgo.

4.2.1.2 Confidencialidad. Toda información que el cliente o un tercero suministre sobre el mismo cliente se debe tratar como información confidencial a menos que se pacte lo contrario entre las partes. Si por pedido de alguna autoridad se debe entregar información del cliente se debe notificar primero al mismo que información se va a hacer pública.

4.2.2 Requisitos relativos de la estructura.

4.2.2.1 Requisitos administrativos. El organismo de inspección debe estar legalmente constituido detallando claramente las funciones y actividades para las que es competente. De igual forma debe disponer de un fondo o seguro que cubra las responsabilidades de su operación y documentar las condiciones contractuales bajo las que presta la inspección.

4.2.2.2 Organización y Gestión. El organismo debe estar gestionado y organizado de tal forma que pueda cumplir sus labores de manera imparcial. Cada puesto de trabajo debe tener sus funciones totalmente detalladas. Dentro del organigrama se debe nombrar uno o más gerentes técnicos los cuales deben tener sus funciones detalladas y asumir toda la responsabilidad de las actividades de inspección. Los gerentes técnicos deben tener un suplente nombrado que asume sus responsabilidades en caso de ausencia.

4.2.3 Requisitos relativos de los recursos.

4.2.3.1 Personal. El organismo de inspección debe disponer de procedimientos documentados para seleccionar, formar, autorizar formalmente y realizar el seguimiento de inspectores y demás personal que participa en las actividades de inspección. Los requisitos de selección y los niveles de formación están dados por el nivel que tenga el colaborador dentro de la organización, con excepción de la formación en confidencialidad ya que debe ser transversal en todos los niveles. El inspector debe estar capacitado en:

- La tecnología empleada para fabricar productos inspeccionado, la operación de los procesos y la prestación de los servicios.
- La manera en la que se utilizan los productos, se operan los procesos y se prestan los servicios.
- Los defectos que puedan ocurrir dentro del uso del producto, los fallos en la operación de los procesos y las deficiencias en la prestación de los servicios.

4.2.3.2 Instalaciones y Equipos. El organismo debe disponer de instalaciones (pueden ser alquiladas) en donde pueda ejecutar las actividades de medición y pruebas. Los equipos deben contar con un programa de mantenimiento y calibración que permitan corroborar la trazabilidad de los equipos y la disposición de los equipos se dan de baja.

4.2.3.3 Subcontratación. Las razones para subcontratar pueden incluir: Una SOBRECARGA DE TRABAJO IMPREVISTA O ANORMAL, miembros clave del personal de inspección que están incapacitados, instalaciones o equipos clave temporalmente no aptos para el uso; parte del contrato del cliente referidos a la inspección no cubierto por el alcance del organismo de inspección o fuera de la capacidad de los recursos del organismo de inspección. El organismo de inspección debe asegurar las competencias de la entidad subcontratada y se debe responsabilizar por la misma en todo momento del contrato.

4.2.4 Requisitos de los procesos.

4.2.4.1 Métodos y procedimientos de inspección. El organismo de inspección debe disponer de instrucciones documentadas para llevar a cabo la inspección de manera segura. Toda la evidencia adquirida durante las inspecciones debe ser administrada con el fin de obtener las experiencias y conocer los alcances del organismo.

4.2.4.2 Tratamiento de los ítems de inspección y de muestras. El organismo de inspección debe contar con procedimientos documentados e instalaciones adecuadas para evitar el deterioro o confusión con los ítems a inspeccionar.

4.2.4.3 Registro de inspección. El organismo de inspección debe mantener un sistema de registros para demostrar el cumplimiento eficaz de los procedimientos de inspección y permitir una evaluación de la inspección.

4.2.4.4 Informes de inspección y certificación de inspección. Un organismo de inspección debe emitir un certificado de inspección que no incluya los resultados de la inspección.

4.2.4.5 Quejas y apelaciones. El organismo de inspección debe disponer de un proceso documentado para recibir, evaluar y tomar decisiones sobre las quejas y apelaciones.

4.2.5 Tipos de organismos de inspección

4.2.5.1 Organismo tipo A. El organismo de inspección debe ser independiente de las partes involucradas, es decir, debe ser un tercero. En particular no debe intervenir en el diseño, fabricación, suministro, instalación, compra, posesión, utilización o mantenimiento de los ítems inspeccionados.

4.2.5.2 Organismo tipo B. El organismo de inspección solo debe prestar servicios de inspección a la organización que forma parte en donde las responsabilidades deben estar claramente separadas y establecidas.

4.2.5.3 Organismo tipo C. Excepción al requisito reglamentario en donde permite al organismo realizar tanto el diseño, fabricación, provisión, instalación, servicio, mantenimiento e inspección sin que esto se considere una inspección de tercera parte.

4.3. OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN DE LA NORMA SAE JA 1011 (CRITERIOS DE EVALUACION PARA PROCESOS DE RCM)

Esta norma describe el criterio mínimo que cualquier proceso debe cumplir para ser llamado “RCM”. Esto no intenta definir un proceso RCM específico.

La norma está destinada para cualquiera que desee cerciorarse si cualquier proceso que pretenda ser RCM sea de hecho un RCM. Esto es especialmente útil a personas que deseen servicios RCM (Análisis, entrenamiento, ejecución de estos servicios, recursos, consultas o combinaciones de estos).

De igual manera se definen los conceptos de Función, falla funcional, modo de fallo, efecto de fallo y consecuencia de falla los cuales ya fueron contemplados en el marco teórico. Un punto importante de este documento es la definición de las tareas programadas. Se tienen los siguientes conceptos:

4.3.1 Tareas por condición: Son tareas que incluyen cualquier actividad predictiva o por condición monitoreada. Debe existir un potencial fallo definido identificable en un intervalo P-F con el fin de poder ejecutar la tarea antes de tener altas probabilidades de falla.

4.3.2 Tarea de sustitución programada. Cualquier tarea programada en donde se reemplace un repuesto en una edad claramente definida, preferiblemente demostrable. Después de esta edad la probabilidad de falla es elevada.

4.3.3 Tareas programadas de restauración. Se refiere a cualquier tarea que se ejecuta en una edad claramente definida en donde se reestablezca la condición de la máquina y se disminuya la probabilidad de falla a un nivel tolerable por el propietario o usuario del recurso.

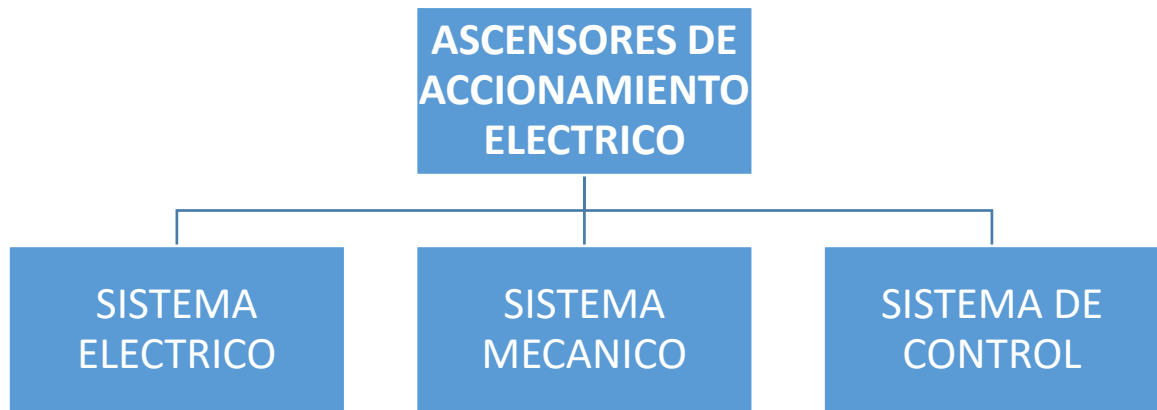
4.3.4 Tarea búsqueda de fallos. Contempla tareas que tengan como objetivo encontrar fallas dentro de intervalos específicos previamente definidos.

5. RECOPIACION Y ANALISIS DE LA INFORMACION

5.1. DEFINICIÓN DE SISTEMAS

El ascensor puede dividirse principalmente en 3 sistemas como se muestra en la siguiente figura.

Figura 10. Sistemas de un ascensor eléctrico



El ascensor es un dispositivo conformado por un sistema mecánico, eléctrico y de control que se diferencian el uno del otro debido a la naturaleza de sus funciones, y de sus componentes.

Es posible diferenciar las entradas y salidas de cada uno de los sistemas, así como también las fallas funcionales, modos y efectos de falla de los componentes, para seleccionar las tareas y periodicidad de las rutinas de mantenimiento, a fin de garantizar la disponibilidad del equipo.

5.2 SISTEMA MECANICO

El sistema mecánico de los ascensores se encuentra conformado básicamente por tres subsistemas: Guías, Suspensión, Amortiguación.

5.2.1 Guías. Las guías son las encargadas de guiar la cabina y el contrapeso en todo el recorrido, con el fin de mantener la verticalidad y soportar los esfuerzos de los frenos de seguridad (Paracaídas).

Las guías son perfiles metálicos en forma de T, que se unen a las paredes o estructura del foso mediante unos elementos también metálicos conocidos como Brackets, garantizando a rigidez necesaria por todo el conjunto mecánico. Su alineación correcta es el factor fundamental para el confort del ascensor durante la marcha.

5.2.1.1 Entradas. El sistema de guías tiene como entrada las fuerzas que ejercen la cabina, el contrapeso, y frenos de seguridad.

5.2.1.2 Salidas. Como salida el sistema de guías tiene el direccionamiento de las fuerzas de reacción ocasionadas por la cabina, contrapeso, y la aplicación de los frenos de seguridad cuando se excede la velocidad nominal.

5.2.1.3 Componentes. Conformado por los siguientes componentes:

- Guías o rieles metálicos en forma de T.
- Brackets, elementos metálicos en forma de C anclados a la estructura del edificio.
- Uniones, que permiten realizar el empalme de dos tramos de rieles o guías.

- Lubricadoras, los cuales son recipientes metálicos o de plásticos encargados de almacenar aceite para mantener lubricado el sistema para garantizar un óptimo confort durante la marcha.

5.2.2 Suspensión. Su principal función es unir la cabina y el contrapeso mediante los cables de tracción, haciendo uso además de poleas de reenvío y de puntos fijos de sujeción. Una falla en el sistema de suspensión conllevaría a que el ascensor cayera al vacío pudiendo generar un accidente de gran magnitud en la que se coloque en riesgo la vida de los usuarios.

5.2.2.1 Entradas. La fuerza ejercida por el motor eléctrico y que es transmitida a los cables o guayas metálicas, mediante la polea tractora.

5.2.2.2 Salidas. La fuerza ejercida por los cables para mover tanto la cabina y el contrapeso.

5.2.2.3 Componentes. Se encuentra conformado por los siguientes elementos: Cables o guayas de tracción, encargados de soportar la carga de la cabina y el contrapeso. Deben inspeccionarse de forma periódica para evitar ruptura de los estolones que lo conforman.

- Poleas de reenvío, encargadas de direccionar los cables de tracción
- Terminales de tracción, encargados de unir los cables de tracción con la estructura de la cabina y del contrapeso.
- Guayas de anti giro, encargadas de evitar que se giren los cables de tracción y mantengan su alineación.

5.2.3 Amortiguación. El sistema de amortiguadores son los encargados de mitigar el impacto de la cabina o del contrapeso ante algún eventual accidente en el cual uno de estos dos elementos caiga al vacío, evitando que golpeen contra el piso.

5.2.3.1 Entradas. El sistema de amortiguadores tiene como entrada la fuerza ejercida por la cabina o el contrapeso al haber caído al vacío.

5.2.3.2 Salidas. La salida del sistema de amortiguación es una fuerza de reacción en dirección contraria a la ejercida por la cabina o el contrapeso al intentar comprimir el resorte o buffer.

5.2.3.4 Componentes. El sistema de amortiguación está conformado por los siguientes elementos.

- Buffer o resorte encargado de amortiguar el impacto.
- Aceite hidráulico, que permite contraer el resorte.
- Micro o final de carrera, e cual envía una señal eléctrica al control informando que el resorte de ha comprimido por el impacto de la cabina o el contrapeso.
- Base metálica, sobre la cual descansa todo el sistema de amortiguación.

5.2.4 Análisis AMFE sistema mecánico. A continuación, se presenta la tabla de fallas funcionales del sistema mecánico:

Tabla 4. Análisis AMFE del sistema mecánico

CODIGO DE FUNCION	FUNCION	CODIGO FF	FALLA FUNCIONAL	CODIGO MF	MODO DE FALLA	DESCRIPCION DE EFECTO
1	Mantener la verticalidad de la cabina y el contrapeso , con una desviación máxima de más o menos 5 mm.	A	No mantiene la verticalidad de la cabina y el contrapeso.	1	Desalineación en rieles de cabina y de contrapeso	Movimientos bruscos acompañado de sonidos fuertes durante la trayectoria del ascensor
				2	Tornillería suelta de los empalmes de rieles cabina y de contrapeso	Movimientos bruscos acompañado de sonidos fuertes durante la trayectoria del ascensor
				3	Zapatillas de cabina y de contrapeso desgastadas	Movimientos bruscos acompañado de sonidos fuertes durante la trayectoria del ascensor
2	Soportar los esfuerzos de los frenos de seguridad (Paracaídas)	A	Las guías se deforman al aplicarse los frenos de seguridad	1	Brackets de sujeción de rieles en mal estado	Al aplicarse los frenos de seguridad las guías se deforman generando vibración y ruidos fuertes

3	Permitir desplazar la cabina y el contrapeso con coeficiente de fricción menor o igual a 0.04	A	Ruido excesivo durante el desplazamiento de la cabina y el contrapeso	1	Aceiteras de cabina y de contrapeso rotas o con fuga	Presencia de aceite encima del techo de la cabina y ruido fuerte en el desplazamiento del ascensor por resequedad de los rieles
				2	Aceiteras de cabina y de contrapeso vacías	Ruido fuerte en el ascensor acompañado de vibraciones debido a la falta de lubricación de los rieles.
		B	Coeficiente de fricción de cabina y contrapeso mayor a 0.04 con respecto a las guías	1	Chasis de cabina cruzado, es decir, sin paralelismo	Ruido fuerte en el ascensor acompañado de vibraciones.
				2	Zapatillas de cabina o contrapeso desajustadas	Ruido fuerte en el ascensor acompañado de vibraciones.
				3	No hay aceiteras en los rieles de cabina o contrapeso	Ruido fuerte en el ascensor acompañado de vibraciones.

4	Mantener suspendido el contrapeso y la cabina mediante los cables de tracción	A	La cabina no se mantiene suspendida	1	Ruptura de los cables de tracción	Caída libre de la cabina y del contrapeso
5	Mantener la tensión uniforme en los cables de tracción	A	No mantiene la tensión uniforme de los cables de tracción	1	Terminales de tracción en mal estado	Desgaste prematuro de los cables de tracción y sonido fuerte en el desplazamiento del ascensor.
				2	Desajuste en los terminales de tracción	Desgaste prematuro de los cables de tracción y sonido fuerte en el desplazamiento del ascensor.
6	Direccionar la caída de los cables de tracción hacia	A	No direcciona los cables de tracción hacia	1	Rodamientos de la polea deflectora con desgaste	Vibración y sonido fuerte al arrancar y frenar el ascensor

	la cabina y el contrapeso		la cabina y el contrapeso.	3	Desalineación de polea deflectora con respecto a poleas de suspensión de cabina y contrapeso.	Vibración y sonido fuerte al arrancar y frenar el ascensor
7	Mantener la alineación de los cables de tracción	A	Cables de tracción desalineados	1	Instalación inadecuada de los cables de tracción, es decir, se instalaron cruzados.	Vibración y sonido fuerte al arrancar y frenar el ascensor
				2	Desgaste en las chumaceras de la polea deflectora	Vibración y sonido fuerte al arrancar y frenar el ascensor
8	Amortiguar el peso de la cabina y el contrapeso ante alguna eventual caída	A	No amortigua	1	Buffer o resortes en mal estado	Al hacer contacto la cabina o el contrapeso con el resorte o amortiguador no se comprime

	Sin exceder una deceleración de 2,5 g.	B	El Buffer amortigua excediendo una desaceleración de 2,5 g	1	Nivel de aceite por debajo de los límites requeridos	El resorte o Buffers amortiguan pero excediendo la desaceleración de 2.5 g
				2	Oxidación de las partes que componen el sistema hidráulico de los buffers	El resorte o Buffers amortiguan pero excediendo la desaceleración de 2.5 g
9	Detener el ascensor mediante la aplicación del freno con un desplazamiento entre 10 y 30 cm	A	El ascensor no frena	1	Freno en mal estado y requiere cambio inmediato	El ascensor no se detiene al aplicarse los frenos, por tanto la cabina o contrapeso se detienen al entrar en contacto con los amortiguadores.
				1	Tornillo de tensión de freno desajustado	Al aplicarse los frenos la cabina desliza deteniéndose a desnivel con respecto al quicio de hall o pasillo.
		B	El ascensor frena con un desplazamiento o mayor a 30 cm	2	Desgaste en resortes y bujes del freno	Al aplicarse los frenos la cabina desliza deteniéndose a desnivel con respecto al quicio de hall o pasillo.

				3	Resortes y bujes de freno sin lubricación	Al aplicarse los frenos la cabina desliza deteniéndose a desnivel con respecto al quicio de hall o pasillo.
		C	El ascensor frena con un desplazamiento o menor a 10 cm.	1	Bandas de frenos descalibradas	La cabina se frena brusco, deteniéndose a desnivel con respecto a quicios e hall o pasillo.
				2	Desajuste en la tensión de cierre y apertura del freno	La cabina se frena brusco, deteniéndose a desnivel con respecto a quicios e hall o pasillo.

5.3 SISTEMA ELECTRICO

El sistema eléctrico es el encargado de proporcionar, distribuir y controlar la energía eléctrica proporcionada por la red o subestación del edificio, para accionar el motor. La tracción se logra por la adherencia de los cables en la polea del motor de la máquina, que no es más que un motor eléctrico (con o sin reductor) y un freno electromecánico. La cabina se desliza o rueda a través de unos rieles fijos verticales, llamados a guías.

5.3.1 Entradas. Las principales entradas del sistema eléctrico del ascensor son la corriente, voltaje y potencia de la red eléctrica del edificio. Esta entrada consiste en un voltaje a 220 VAC con una potencia variable dependiendo de la capacidad y velocidad del elevador, y que debe contar además con una línea a tierra y un neutro por separado. En ocasiones, se requiere un transformador para elevar o disminuir el voltaje de entrada proporcionado por la subestación del edificio.

El edificio debe contar con un breaker o totalizador para proteger ante cortocircuitos o variaciones de voltaje a los elementos que conforman al ascensor. El dimensionamiento del breaker o totalizador depende de la capacidad de carga y velocidad del ascensor.

5.3.2 Salidas. El sistema eléctrico entrega como salida, el voltaje, corriente y potencia necesaria que alimenta el motor, y otras señales para la alimentación de displays, sensores, actuadores, fuentes y luces.

5.3.3 Componentes. El sistema eléctrico de un ascensor se encuentra conformado principalmente por los siguientes dispositivos:

- Breaker principal 220 VAC
- Transformador principal 220VAC-380VAC

- Transformador secundario 24VDC – 110/220 VAC
- Fuente de 24 Voltios DC
- Rectificadores de corriente
- Contactor del freno
- Contactor principal del motor
- Resistencias de frenado
- Relevos térmicos (Bobina 24 VDC)
- Cableado eléctrico
- Temporizadores
- Fusibles
- Relé J o de inversión de fases

5.3.4 Análisis AMFE del sistema eléctrico. A continuación, se presenta la tabla de fallas funcionales del sistema eléctrico:

Tabla 5. Análisis AMFE del sistema eléctrico

CODIGO DE FUNCION	FUNCION	CODIGO FF	FALLA FUNCIONAL	CODIGO MF	MODO DE FALLA	DESCRIPCION DE EFECTO
1	Suministrar energía eléctrica a 220 VAC con una tolerancia de 5% (+ o -), con una línea neutro y tierra.	A	Ausencia de energía eléctrica de la acometida principal.	1	La red eléctrica no proporciona el valor de corriente requerida por el ascensor	El ascensor no responde a ningún tipo de llamado, las botoneras y display se encuentran apagados, al igual que el sistema de control.
		B	Energía eléctrica por fuera del rango de tolerancia del 5%	1	Fluctuaciones de energía en el fluido eléctrico.	El ascensor se bloquea por activación de las protecciones eléctricas.
				2	Fase caída entre acometida del transformador de la subestación y el breaker del cuarto de máquinas.	Una vez subido los breaker se activan los relés J encargados de revisar si hay caídas o inversiones de fases.

				3	Fallas en el transformador de la subestación eléctrica del edificio.	No hay respuesta del ascensor, y una vez subidos los breakers se disparan nuevamente.
		C	Resistencia del sistema de tierras por encima de 8 Ohmios.	1	No se encuentra aterrizado a tierra la acometida eléctrica del ascensor.	El ascensor se bloquea al intentar moverse y genera error GROUND FAULT
				2	El polo a tierra del edificio no ha recibido mantenimiento hace más de 36 meses.	El ascensor se bloquea al intentar moverse y genera error GROUND FAULT
				3	Oxidación del cableado de tierras desde la subestación del edificio hasta el cuarto de máquinas.	El ascensor se bloquea al intentar moverse y genera error GROUND FAULT

2	Proteger el sistema eléctrico de sobre corrientes	A	Las protecciones del sistema eléctrico no se accionan ante una sobre corriente	1	Breakers dimensionados inadecuadamente.	Ante cortocircuitos en la subestación y fluctuaciones se dañan los transistores de la etapa de potencia
3	Eleva el voltaje de entrada de 220 VAC a 380 VAC con una tolerancia del 5%.	A	El voltaje de salida no es de 380 VAC	1	Conexiones sueltas en los bornes del transformador	Se activan los relés J indicando que hay una fase caída
				2	Cortocircuito entre las bobinas del transformador del cuarto de máquinas.	Se disparan los breakers del control por cortocircuito
				3	Fallas en el devanado del transformador del cuarto de máquinas.	Se activan los relés J y los breakers del control
4	Suministrar energía eléctrica a 110 VAC con una	A	Ausencia de energía eléctrica de la	1	Caída de fase principal de 110 VAC en la subestación	No encienden las luces ni el ventilador del ascensor.

	tolerancia de 5% (+ o -) y neutro, para la iluminación del ascensor.		acometida de 110 VAC	2	Caída de la línea de neutro de la subestación	No encienden las luces ni el ventilador del ascensor.
				3	La red eléctrica no provee energía eléctrica de 110 VAC	No encienden las luces ni el ventilador del ascensor.
				4	Cortocircuito en la acometida de 110 VAC de la subestación	No encienden las luces ni el ventilador del ascensor.

5.4 SISTEMA DE CONTROL

Un ascensor eléctrico cuenta con una serie de sensores y actuadores para hacer los movimientos y paradas en cada nivel de un edificio. Los sensores envían la información necesaria al control para que el grupo tractor y el motor eléctrico actúe de forma sincronizada haciendo las paradas en el nivel seleccionado por el usuario dentro de la cabina o afuera de ella.

El control de los sistemas de ascensores se realiza mediante sistemas electrónicos, encargados de hacer funcionar la dirección de movimiento de la cabina y de seleccionar los pisos en los que esta deba detenerse. La compañía de ascensores Otis inventó el primer sistema de control con "memoria" para grupos de ascensores, lo que permitió su automatización y prescindir de los ascensoristas.

Actualmente, los controles de ascensores funcionan con microprocesadores electrónicos que mediante algoritmos de inteligencia artificial determinan la forma de administrar la respuesta a los pedidos de llamadas coordinando la operación de los distintos equipos. Los cuadros de maniobra actuales tienen un sistema de información de errores, que en caso de avería muestran en una pantalla el código de error de tal forma que el mecánico del ascensor sepa cuál ha sido el motivo de que el ascensor se detuvo.

Un ascensor cuenta con múltiples dispositivos de seguridad para evitar cualquier riesgo de accidentes y en cuanto cualquier dispositivo falla el ascensor queda automáticamente detenido. Cualquier elevador por antiguo que sea tiene contactos en: las puertas exteriores, puertas de cabina, contacto de rotura de cables, de disparo de polea del limitador superior, de aflojamiento de cable en polea de limitador inferior, de acúñamiento en cabina, etc. En cuanto cualquiera de estos contactos falle, el ascensor se parará indicando el contacto o dispositivo que ha fallado.

Comúnmente los sistemas de control de ascensores sufren daños por sobre voltajes de red, picos de corriente elevados a la salida de los variadores de velocidad, o por fallas comunes como el bloqueo de una puerta, o por el deslizamiento de las guayas en las poleas tracción del ascensor por exceso de carga

5.4.1 Entradas. El sistema de control recibe como entrada, señales tanto digitales como analógicas por parte de los sensores y periféricos del ascensor.

5.4.2 Salidas. El sistema entrega como salida, una señal de control a los actuadores y mecanismos del ascensor permitiendo que se mueva o detenga la cabina, a la vez que regula su velocidad.

5.4.3 Componentes. A continuación, se listan los componentes del sistema de control de los ascensores, y sus funciones.

5.4.3.1 Microprocesador programable o tarjeta MAIN. Este microprocesador de acuerdo con las funciones que fue grabado, administra la comunicación de entradas por medio de multiplexores y las salidas por medio de memorias o de relés para el manejo de la potencia.

Las entradas de todas las seguridades, pantallas o imanes de nivelación y los distintos comandos de mantenimiento son separados y codificados. Las entradas de las seguridades y series de puertas son a niveles de 110v, estos son atenuados y filtrados antes de llegar a los multiplexores.

Los sistemas de control modernos cuentan con buses de datos para facilitar el control y eliminar el exceso de cableado. La comunicación de cada una de las tarjetas se realiza por medio de buses de campo y protocolos conocidos como CANbus y Modbus.

5.4.3.2 Variadores de frecuencia o velocidad. El variador de velocidad es un dispositivo de conversión de energía eléctrica a mecánica el cual envía una señal en frecuencia al motor la cual varía dependiendo de las necesidades de la aplicación. En la industria la instalación de este tipo de equipos permite tener un mayor control sobre el trabajo del motor y así mismo una mayor seguridad en su funcionamiento. Los variadores de velocidad están compuestos internamente por los siguientes componentes:

- Puente rectificador trifásico de onda completa el cual transforma la energía alterna en directa para las siguientes etapas
- Bus DC el cual suaviza el voltaje resultante de la etapa de rectificación eliminando el rizado restante y por otro se encarga de dar la energía necesaria para la salida del equipo
- Etapa Inversora. Esta etapa está compuesta por una serie de módulos IGBT los cuales toman el voltaje DC almacenado en los condensadores y aplicando una modulación PWM construyen una señal que se asemeja a una AC en sus valores de voltaje en el tiempo. La principal ventaja de manejar el voltaje en el motor por este medio es la posibilidad de tener un mejor control sobre el torque y el comportamiento del voltaje en los diferentes valores de frecuencia.

5.4.3.3 Sensor de puertas. Es un sensor foto-eléctrico que no permite que la cabina se cierre en caso de presencia o interrupción entre el emisor y el receptor, todos los ascensores para pasajeros normalizados cuentan con este dispositivo.

5.4.3.4 Sensores inductivos de pantallas o nivel de piso. Un sensor inductivo es el encargado de leer las pantallas (normalmente en lámina de acero) ubicadas dentro del foso en cada nivel de piso. Dependiendo de la llamada realizada desde la botonera de cabina o la botonera de piso, el control indica donde debe para el ascensor confirmando la parada con la señal del sensor inductivo.

Dependiendo la configuración que tenga el control electrónico del ascensor, se pueden utilizar hasta 3 sensores inductivos para lograr mayor precisión en las paradas y la nivelación en cada piso. El estado de estos dispositivos es de gran importancia para el sistema de monitoreo ya que si algún sensor falla el sistema de monitoreo puede identificar donde o cual sensor no está emitiendo señal al control. Las pantallas ubicadas en el foso o hueco en cada nivel de un edificio interrumpen la señal del sensor para que el control indique donde debe parar el ascensor.

5.4.3.5 Celda o Sensor de sobrecarga. Este dispositivo se encarga de enviar una señal análoga al control dando a conocer el peso dentro de la cabina y así permitir el movimiento del motor. Normalmente se calibra dependiendo el peso máximo que soporta el ascensor.

La celda de carga va ubicada debajo de la cabina del ascensor o algunas veces también puede ir ubicada en los cables de tracción de la máquina en un punto fijo y por tensión se conoce el peso de la cabina. Un ascensor puede mostrar fallos por este dispositivo, ya que se puede des-calibrar impidiendo que el control permita el arranque del motor del ascensor. Aunque solo los ascensores modernos cuentan con este sistema, los antiguos cuentan con un micro-switch ubicado debajo de la cabina que se activa en caso de sobre peso de la cabina impidiendo el movimiento del ascensor.

5.4.3.6 Encoder. Los Encoders convierten el movimiento en una señal eléctrica que puede ser interpretada por el sistema o tarjetas de control. El encoder envía una señal de respuesta que puede ser utilizado para determinar la posición, contar, velocidad o dirección del ascensor.

5.4.3.7 Operador de puertas. Los ascensores modernos están equipados con actuadores para la apertura y cierre de las puertas de cabina. Un operador de puertas abre y cierra las puertas de la cabina en cada nivel. Estos equipos constan de un motor y un variador de velocidad para que la apertura de las puertas sea automática, este trae integrado un equipo mecánico con poleas que se ajusta y se configura según la distancia de apertura de las puertas.

5.4.3.8 Micros de línea de seguridad. Son sensores que indican si alguna de las siguientes seguridades se encuentra activada conllevando a detener el ascensor por seguridad: Stop (en el pit, techo o cuarto de máquinas), micro switch de puerta de cabina y hall, micros de buffers o resortes, micros de frenos, finales de carrera, sensores de paracaídas y mordazas.

5.4.3.9 Periféricos. Conformados por las botoneras de cabina y de piso o hall, así como también del intercomunicador y de la alarma en caso de incendios.

5.4.4 Análisis AMFE del sistema de control. A continuación, se presenta la tabla de fallas funcionales del sistema de control:

Tabla 6. Análisis AMFE del sistema de control

CODIGO DE FUNCION	FUNCION	CODIGO FF	FALLA FUNCIONAL	CODIGO MF	MODO DE FALLA	DESCRIPCION DE EFECTO
1	Ajustar la velocidad del motor según lo requerido por la tarjeta de control	A	La velocidad del motor está fuera del rango requerido por la tarjeta de control	1	Sulfatación en el cableado del encoder	El ascensor se frena brusco en viaje y emite error FAULT SPEED
				2	Existe holgura entre el encoder y el eje mayor de 2 mm	El ascensor se desliza al intentar moverse y se bloquea al salirse de zona de puertas
				3	Tornillo prisionero del encoder suelto	El ascensor se frena brusco en viaje y emite error OVER SPEED
				4	Ruido electromagnético generado al encoder por cercanía a los cables de potencia	Vibración y ruido excesivo en la máquina de tracción al estar en movimiento el ascensor, y emite la falla OVER SPEED.

				5	Pulsos erróneos emitidos por el encoder debido a material particulado en las conexiones del mismo.	El ascensor se frena brusco en viaje y emite error FAULT SPEED
				6	Tarjeta de control no funciona correctamente	El ascensor no realiza el cambio de velocidad al accionar los micros de desaceleración
2	Direccionar la cabina hacia el piso solicitado por el usuario	A	La cabina no llega al piso solicitado por el usuario.	1	Los botones de hall no funcionan correctamente	Al solicitar el usuario el ascensor no se detiene en el piso especificado
				2	Las tarjetas de displays de piso tienen segmentos en mal estado	Las tarjetas de displays indican un numero de piso diferente en el cual se encuentra ubicado el ascensor
				3	Sensores de nivelación desajustados con respecto a las banderas de pisos	El ascensor se frena bruscamente y renivela al piso más cercano y abre sus puertas y se coloca fuera de servicio.
				4	Sensores de nivelación en mal estado	El ascensor se frena bruscamente y renivela al piso más cercano y abre sus puertas y se coloca fuera de servicio.

				5	Manipulación inadecuada por parte de los usuarios de los botones de parada en pisos pares o impares	El ascensor solo se detiene en los pisos pares y no en los impares.
				6	Los botones de cabina no funcionan correctamente	El ascensor no se dirige al piso especificado por el usuario al oprimir el botón de cabina.
3	Posicionar la cabina a nivel con el piso de hall.	A	La cabina se detiene desnivelada respecto al piso de hall	1	Conexiones del encoder con falso contacto por material particulado	El ascensor se desliza al intentar moverse y se bloquea al salirse de zona de puertas, quedando a desnivel
				2	Sensores de desaceleración no funcionan correctamente	El ascensor no realiza el cambio de velocidad al accionar los micros de desaceleración, conllevando a que la cabina quede desnivelada respecto a los pisos de hall

				3	Platineria de nivelación se encuentra desnivelada por más de 2 mm	El quicio de hall con respecto a la cabina se encuentran a desnivel generando tropezones a los usuarios al intentar subir o bajar del ascensor
				4	Sensores de nivelación no funcionan correctamente	El ascensor se detiene desnivelado y se coloca fuera de servicio
4	Abrir las puertas en el nivel de piso solicitado por el usuario.	A	No se abren las puertas al llegar el ascensor al piso solicitado.	1	Avería del motor del operador de puertas	El controlador de puertas emite las señales y corriente para que el motor funcione pero no se mueve.
				2	Avería del Contactor de apertura de puertas	El Contactor no se acciona al existir excitación en su bobina, evitando activar el controlador de las puertas.
				3	Avería del controlador de puertas de cabina	El controlador de puertas se encuentra con voltaje de alimentación pero no enciende y por ende no emite señales de abrir puertas

				4	Activación por parte del usuario del botón de desactivación de la apertura de puertas	Se emite la falla FAULT DOOR OFF
		B	Las puertas se abren en un nivel o piso no solicitado por el usuario.	1	Tarjeta MAIN no funciona correctamente	El ascensor se detiene en un piso no solicitado y se emite la falla FAULT FLOOR DEST
		C	Las puertas no se abren en su totalidad	1	El encoder del motor de apertura de puertas no funciona correctamente	El motor del operador de puertas intenta moverse y se des energiza, emitiendo la alarma FAULT ENC OPER
5	Visualizar en las botoneras de cabina y hall la ubicación (piso) del ascensor.	A	No se visualiza la posición (piso) del ascensor	1	Las tarjetas de display de reciben el voltaje de 24 VDC por daño de la fuente de alimentación	No encienden las tarjetas de visualización en ninguna de las botoneras de hall ni de cabina

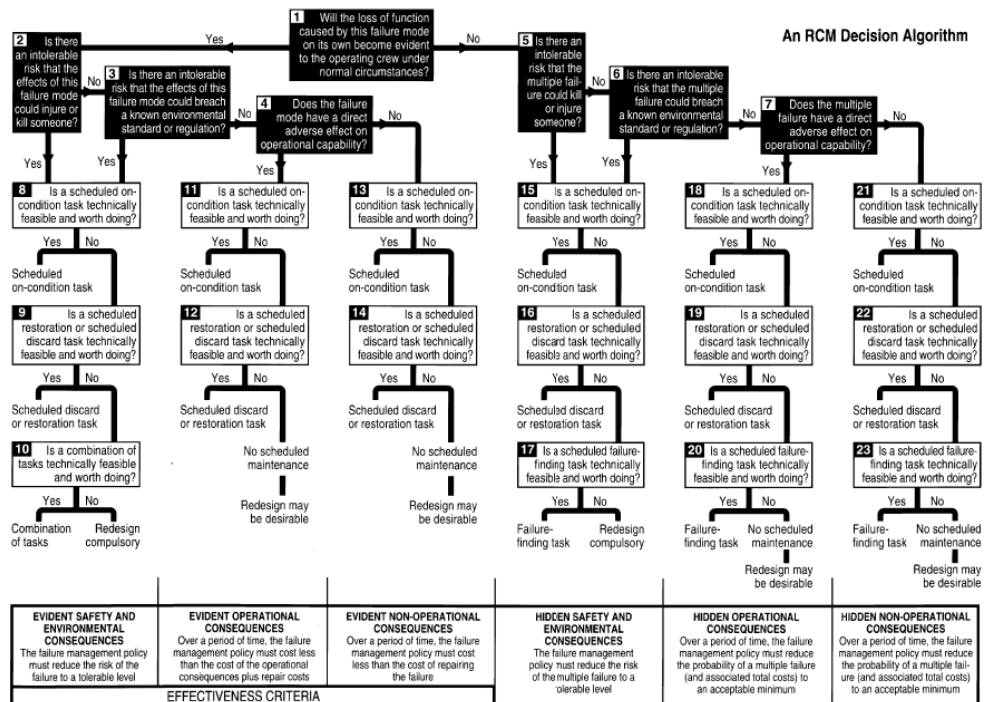
				2	Cortocircuito en tarjetas de visualización	En algunos pisos puede visualizarse la posición del ascensor y en otros los displays se evidencian totalmente apagados.
				3	Sulfatación en el cableado de alimentación de los displays	Solo encienden algunos de los segmentos de los displays no permitiendo saber realmente en que piso se encuentra ubicado el ascensor
				1	Conexiones sueltas de las tarjetas de visualización	Solo encienden algunos de los segmentos de los displays no permitiendo saber realmente en que piso se encuentra ubicado el ascensor
		B	Visualización incorrecta de la posición (piso) del ascensor	2	Daño en los segmentos que conforman la matriz de visualización	La matriz de visualización presenta varios segmentos sin funcionar, lo cual conlleva que los números no se puedan observar completamente
				1	Celdas de carga descalibradas	Al exceder el 110% de su carga nominal el ascensor continua funcionando
				2	Celdas de carga deshabilitadas	Al exceder el 110% de su carga nominal el ascensor continua funcionando
7	Restringir el uso del ascensor cuando se exceda el 110% de la	A	El ascensor no restringe el funcionamiento al excederse el 110% de su carga nominal	1	Celdas de carga descalibradas	Al exceder el 110% de su carga nominal el ascensor continua funcionando
				2	Celdas de carga deshabilitadas	Al exceder el 110% de su carga nominal el ascensor continua funcionando

	carga nominal	B	El ascensor restringe su funcionamiento sin haber excedido el 110% de su carga nominal	1	Celdas de carga descalibradas	El ascensor no se encuentra excediendo su carga nominal y emite señal de alarma sonora restringiendo su funcionamiento.
8	Detener el ascensor cuando se active una de sus seguridades	A	El ascensor no se detiene al activarse el circuito de seguridades	1	Circuito de seguridades se encuentran deshabilitados haciendo uso de puentes o jumpers	Al activar una de las seguridades del ascensor como un stop o final de carrera no se detiene pudiendo conllevar a un accidente
9	Permitir comunicar a los usuarios dentro de la cabina con la portería mediante un cito fono.	A	El sistema de comunicación no funciona	1	Daño de la fuente externa de alimentación del sistema de intercomunicador	El intercomunicador no funciona al haber ausencia de energía eléctrica.
				2	Daño del botón de emergencia para activar el intercomunicador	Al oprimir el botón de emergencia no se activa la alarma sonora ni el cito fono
				3	Daño del cito fono	Al oprimir el botón de emergencia se activa la alarma sonora pero no suena el cito fono.
				4	Cableado del intercomunicador en mal estado	Al intentar hablar por el intercomunicador solo se escucha interferencia.

5.5 MODELO DE MANTENIMIENTO MEDIANTE TABLAS DE DECISION

Las tablas de decisión propuesta en la norma SAE JA1012 permiten establecer tareas de mantenimiento para cada modo de falla y definir su periodicidad mediante el análisis de criticidad. Los intervalos de ejecución de las tareas de mantenimiento también fueron soportados por la Norma EN-81-1 y recomendaciones del fabricante dadas en los manuales de instalación y operación. Las tablas se basan en el algoritmo de decisión para gestionar los datos obtenidos en el análisis AMFE.

Figura 11. Algoritmo de decisión



Fuente: SAE. (2002). Norma SAE JA1012. Warrendale.

En la tabla decisión, las tres primeras columnas se refieren al código de la función, falla funcional y modo de falla, Las siguientes tres columnas se refieren al análisis de consecuencias de cada uno de los modos de falla.

La siguiente figura ilustra la manera como se diligencia el formato.

Figura 12. Tareas Proactivas

Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				
F	FF	FM	H	S	E	O	
3	A	1	N				Una falla oculta: Para que merezca la pena realizarla, cualquier tarea proactiva debe reducir a un nivel tolerable el riesgo de una falla múltiple.
5	B	2	S	S			Consecuencias para la seguridad: Para que merezca la pena realizarla, cualquier tarea proactiva debe reducir a un nivel tolerable el riesgo de esta falla por si sola.
2	C	4	S	N	S		Consecuencias para el medio ambiente: Para que merezca la pena realizarla, cualquier tarea proactiva debe reducir a un nivel tolerable el riesgo de esta falla por si sola.
1	A	5	S	N	N	S	Consecuencias operacionales: Para que merezca la pena realizarla, cualquier tarea proactiva debe costar menos que el costo total de las consecuencias operacionales más el costo de la reparación que pretende prevenir a través de un periodo de tiempo.
1	B	3	S	N	N	N	Consecuencias no operacionales: Para que merezca la pena realizarla, cualquier tarea proactiva debe costar menos que el costo de reparación que pretende prevenir a través de un periodo de tiempo

Fuente: MOUBRAY, John. (2004). Mantenimiento centrado en Confiabilidad RCM II. (S. A. Elman, Trad.) Leicester, Reino Unido: Aladon LLC.

Figura 13. Tareas A falta de actividades predefinidas

Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Tareas "a falta de"			
F	FF	FM	H	S	E	O	S1	S2	S3	"a falta de"			
							O1	O2	O3				
							N1	N2	N3	H4	H5	S4	
3	A	1	N				N	N	N	S			¿Es técnicamente factible y merece la pena realizar una tarea de búsqueda de falla?
Registrar "SI" si es posible realizar la tarea y resulta práctico hacerlo con la frecuencia requerida y reduce el riesgo de la falla múltiple a un nivel tolerable.													
4	B	4	N				N	N	N	N	S		¿Podría la falla múltiple afectar la seguridad o el medio ambiente?
4	C	2	N				N	N	N	N	N		
Sólo se hace esta pregunta si la respuesta a la pregunta H4 es NO. Si la respuesta es positiva, el rediseño es obligatorio. Si la respuesta es NO, la acción "a falta de" es no realizar mantenimiento preventivo, pero el rediseño puede ser deseable.													
5	B	2	S	S			N	N	N		S		¿Es técnicamente factible y merece la pena realizar una combinación de tareas?
2	A	5	S	S			N	N	N		N		
Sí, si una combinación de dos o más tareas proactivas cualquiera reduce el riesgo de falla a un nivel tolerable (lo que rara vez sucede). Si la respuesta es NO, el rediseño es obligatorio.													
1	A	5	S	N	N	S	N	N	N				En estos dos casos, las consecuencias de la falla son puramente económicas y no se pudo encontrar una tarea proactiva apropiada.
1	B	3	S	N	N	N	N	N	N				Como resultado, la decisión "a falta de" inicial es no realizar mantenimiento programado, pero el rediseño puede ser deseable.

Fuente: MOUBRAY, John. (2004). Mantenimiento centrado en Confiabilidad RCM II. (S. A. Elman, Trad.) Leicester, Reino Unido: Aladon LLC.

5.5.1 Sistema Mecánico

Tabla 7. Hoja de decisión del sistema Mecánico

REFERENCIA DE INFORMACION			EVALUACION DE LAS CONSECUENCIAS				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	ACCION A FALTA DE			TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	RESPONSABLE
F	FF	FM	H	S	E	O				H4	H5	S4			
1	A	1	N				N	S					Realignar rieles de cabina y de contrapeso	12 Meses	Mecánico
1	A	2	N				N	S					Re-torqueo de tornillería de los empalmes de rieles	12 Meses	Mecánico
1	A	3	S	N	N	S	N	S					Lubricar zapatas y ajustar guides	6 Meses	Mecánico
2	A	1	S	S			S						Revisión de sujeción de rieles mediante análisis de vibraciones	12 Meses	Mecánico
3	A	1	S	N	S		N	S					Revisión de aceiteras de cabina y de contrapeso	3 Meses	Mecánico
3	A	2	S	N	N	N	N	S					Revisión de aceiteras de cabina y de contrapeso	3 Meses	Mecánico
3	B	1	S	N	N	N	S						Revisión de paralelismo del chasis mediante análisis de vibración	12 Meses	Mecánico
3	B	2	S	N	N	S	N	S					Lubricar zapatas y ajustar guides	6 Meses	Mecánico
3	B	3	N				N	S					Inspeccionar si las aceiteras se encuentran instaladas adecuadamente	3 Meses	Mecánico
4	A	1	S	S			S						Monitoreo de la tensión de los cables de tracción mediante torquimetro y del estado de los mismos.	3 Meses	Mecánico
5	A	1	S	S			S						Monitoreo de la tensión de los terminales de tracción mediante torquimetro y del estado de los mismos.	3 Meses	Mecánico

5	A	2	S	S			S						Monitoreo de la tensión de los terminales de tracción mediante torquimetro y del estado de los mismos.	3 Meses	Mecánico
6	A	1	S	N	N	S	S						Análisis de vibración a los rodamientos de la polea	12 Meses	Mecánico
6	A	2	S	N	N	S	S						Análisis de vibración a los rodamientos de la polea	12 Meses	Mecánico
7	A	1	S	S			N	S					Revisión de los cables de tracción e inspección del diámetro de los mismos.	6 Meses	Mecánico
7	A	2	S	N	N	S	N	S					Lubricación y limpieza de la chumacera	12 Meses	Mecánico
8	A	1	S	S			N	S					Inspección, Limpieza y lubricación de resortes	6 Meses	Mecánico
8	B	1	S	S			N	S					Verificar niveles de aceite y mantener el nivel dentro de lo requerido	6 Meses	Mecánico
8	B	2	S	S			N	S					Limpiar y lubricar los resortes de cabina y contrapeso	6 Meses	Mecánico
9	A	1	S	S			S						Monitoreo del estado del freno mediante el Service Tools	1 Mes	Mecánico
9	B	1	S	S			S						Monitoreo del estado del freno mediante el Service Tools e inspección visual	1 Mes	Mecánico
9	B	2	S	S			S						Monitoreo del estado del freno mediante el Service Tools y lubricación de componentes	3 Meses	Mecánico
9	B	3	S	S			S						Monitoreo del estado del freno mediante el Service Tools y lubricación de componentes	3 Meses	Mecánico
9	C	1	S	S			N	S					Ajustar con galgas la distancias entre bandas del freno	12 Meses	Mecánico
9	C	2	S	S			N	S					Ajusta tornillo de tensión del freno	6 Meses	Mecánico

5.5.2 Sistema eléctrico.

Tabla 8. Hoja de decisión del sistema eléctrico

REFERENCIA DE INFORMACION			EVALUACION DE LAS CONSECUENCIAS				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	ACCION A FALTA DE			TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	RESPONSABLE
F	FF	FM	H	S	E	O				H4	H5	S4			
1	A	1	S	N	N	S	S						Revisión de variables eléctricas en analizador de red	6 Meses	Eléctrico
1	B	1	S	N	N	S	S						Revisión de planta eléctrica de respaldo para el ascensor	6 Meses	Eléctrico
1	B	2	S	N	N	S	N	S					Re-torqueo de conexiones eléctricas del transformador	3 Meses	Eléctrico
1	B	3	S	N	N	S	S						Análisis de termografía (Puntos calientes) y de variables eléctricas mediante analizador de red	6 Meses	Eléctrico
1	C	1	N				N	S					Inspección de conexiones a tierra y Re-torqueo.	3 Meses	Eléctrico
1	C	2	N				N	S					Medición de la resistencia proporcionada por el polo a tierra	12 Meses	Eléctrico
1	C	3	N				N	S					Medición de la resistencia en el control del cuarto de maquinas	12 Meses	Eléctrico
2	A	1	S	N	N	S	N	N	S				Verificar el funcionamiento adecuado del breaker al superarse las variables de voltaje y corriente dimensionadas	3 Meses	Eléctrico
3	A	1	S	N	N	S	N	S					Limpiar y asegurar las conexiones de los bornes del transformador	3 Meses	Eléctrico

3	A	2	S	N	N	S	S						Análisis de termografía (Puntos calientes) y de variables eléctricas mediante analizador de red	6 Meses	Eléctrico
3	A	3	S	N	N	S	S						Análisis de termografía (Puntos calientes) y de variables eléctricas mediante analizador de red	6 Meses	Eléctrico
4	A	1	S	N	N	S	N	S					Limpiar y asegurar las conexiones de breaker de 110 VAC	3 Meses	Eléctrico
4	A	2	S	N	N	S	N	S					Limpiar y asegurar las conexiones de breaker de 110 VAC	3 Meses	Eléctrico
4	A	3	S	N	N	S	S						Revisión de planta eléctrica de respaldo para el ascensor	6 Meses	Eléctrico
4	A	4	S	N	N	S	S						Análisis de termografía (Puntos calientes) y de variables eléctricas mediante analizador de red	6 Meses	Eléctrico

5.5.3. Sistema de control.

Tabla 9. Hoja de decisión sistema de control

REFERENCIA DE INFORMACION			EVALUACION DE LAS CONSECUENCIAS				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	ACCION A FALTA DE			TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	RESPONSABLE
F	FF	FM	H	S	E	O				H4	H5	S4			
1	A	1	S	N	N	S	N	S					Revisar y limpiar conexiones del encoder	2 Meses	Mecánico
1	A	2	N				N	S					Revisar y apretar tornillo prisionero del encoder	6 Meses	Mecánico
1	A	3	N				N	S					Revisar y apretar tornillo prisionero del encoder	6 Meses	Mecánico
1	A	4	N				S						Monitorear interferencias en el encoder ocasionada por ruido eléctrico	3 Meses	Eléctrico
1	A	5	N				N	S					Limpieza de conexiones del encoder	3 Meses	Mecánico
1	A	6	S	N	N	S	N	S					Limpieza de tarjetas de control, revisión de conexiones y protecciones (fusibles)	3 Meses	Eléctrico
2	A	1	S	N	N	S	N	S					Limpieza de botones y estaciones remotas. Revisión de conexiones	12 Meses	Eléctrico
2	A	2	N				N	S					Limpieza de tarjetas de displays y estaciones remotas. Revisión de conexiones.	12 Meses	Eléctrico

2	A	3	S	N	N	S	N	S					Ajuste de la distancia de los sensores de nivelación con respecto a los imanes o banderas	9 Meses	Mecánico
2	A	4	S	N	N	S	S						Monitoreo de la condición de los sensores de nivelación mediante Service Tools	9 Meses	Mecánico
2	A	5	S	N	N	S	N	N	N				Restablecer la posición de los botones de paradas pares o impares en su posición adecuada		Mecánico
2	A	6	S	N	N	S	N	S					Limpieza de botones y estaciones remotas. Revisión de conexiones	12 Meses	Mecánico
3	A	1	S	N	N	S	N	S					Revisar y limpiar conexiones del encoder	2 Meses	Mecánico
3	A	2	S	N	N	S	N	S					Limpieza de sensores y ajustes con respecto a la rampa de desaceleración	9 Meses	Mecánico
3	A	3	N				N	S					Ajustar platinería y apretar tornillería. Limpieza de banderas.	9 Meses	Mecánico
3	A	4	S	N	N	S	S						Monitoreo de la condición de los sensores de nivelación mediante Service Tools	9 Meses	Mecánico
4	A	1	S	N	N	S	S						Monitoreo de la condición del motor de puertas mediante el Service Tools. Revisión de puntos calientes	9 Meses	Mecánico
4	A	2	S	N	N	S	N	S					Realizar limpieza al Contactor y re-torqueo de conexiones	6 Meses	Mecánico
4	A	3	S	N	N	S	S						Monitoreo de la condición del operador de puertas mediante el Service Tools	9 Meses	Mecánico
4	A	4	S	N	N	S	N	N	N				Restablecer a la posición adecuada el botón de desactivación de apertura de puertas		Mecánico

4	B	1	S	N	N	S	N	S					Limpieza de la tarjeta MAIN, re-torqueo de conexiones y revisión de fusibles	3 Meses	Eléctrico
4	C	1	S	N	N	S	N	S					Revisar y limpiar conexiones del encoder	2 Meses	Mecánico
5	A	1	S	N	N	S	N	S					Limpieza de la fuente 24 V, re-torqueo de conexiones y revisión de fusibles.	3 Meses	Eléctrico
5	A	2	S	N	N	S	N	S					Limpieza de las tarjetas de display, re-torqueo de conexiones.	3 Meses	Eléctrico
5	A	3	N				N	S					Limpieza de conexiones de los displays de hall y de cabina	3 Meses	Mecánico
5	B	1	N				N	S					Re-torqueo de conexiones de los displays	6 Meses	Mecánico
5	B	2	N				N	S					Limpieza y Re-torqueo de conexiones de los displays	6 Meses	Mecánico
6	A	1	S	N	N	S	S						Monitoreo del pesacarga mediante el Service Tools	9 Meses	Mecánico
6	A	2	S	N	N	S	S						Monitoreo del pesacarga mediante el Service Tools	9 Meses	Mecánico
6	B	1	S	N	N	S	S						Monitoreo del pesacarga mediante el Service Tools	9 Meses	Mecánico
7	A	1	S	S			N	S					Revisión de seguridades del ascensor, ajustes y limpieza de sensores	1 Mes	Eléctrico
8	A	1	S	N	N	N	N	S					Revisión del sistema de citofonia, ajuste de conexiones.	9 Meses	Eléctrico
8	A	2	S	N	N	N	N	S					Revisión del sistema de citofonia, ajuste de conexiones.	9 Meses	Eléctrico
8	A	3	S	N	N	N	N	S					Revisión del sistema de citofonia, ajuste de conexiones.	9 Meses	Eléctrico

8	A	4	S	N	N	N	N	S					Revisión del sistema de citofonia, ajuste de conexiones.	9 Meses	Eléctrico
---	---	---	---	---	---	---	---	---	--	--	--	--	--	---------	-----------

5.6 ANALISIS DE CRITICIDAD

El análisis de criticidad es una metodología que se utiliza para determinar jerarquías y prioridades dentro de los subsistemas del elevador mediante la cuantificación del impacto de sobre el sistema general. Este tipo de análisis se convierte en una herramienta para la toma de decisiones y direccionamiento de los recursos en los componentes más importantes.

La siguiente tabla muestra la matriz de criticidad que se usa para evaluar los subsistemas del elevador.

Tabla 10. Matriz de criticidad

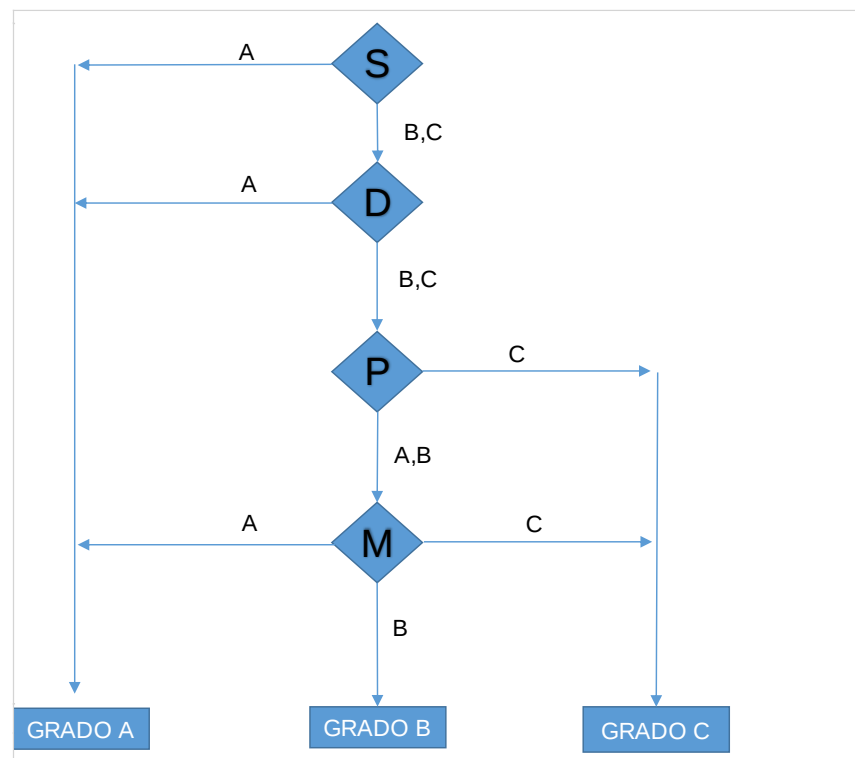
Elemento de evaluación	GRADO A	GRADO B	GRADO C
S	Una Falla podría causar serios daños al usuario	Una falla podría provocar lesiones leves al usuario	Una falla no causaría ninguna lesión al usuario
Seguridad del usuario			
D	Una falla dejaría totalmente fuera de servicio al elevador	Una falla podría comprometer una de las funciones auxiliares del elevador	No compromete el funcionamiento de algún sistema del elevador
Factor de retraso			
P	Falla recurrente (cada 6 meses o más)	Falla una vez al año aproximadamente	Difícilmente se presenta (menos de 1 vez al año)
Intervalo de Falla			
M	Tiempo de reparación más de 7 horas. Costo superior a \$20M	Tiempo de reparación entre 2 y 7 horas. Costo entre \$7M a \$20M	Tiempo de reparación de 2 horas o menos. Costo menor a \$7M
Mantenibilidad			

Fuente: GIRALDO, Sebastián. Mantenimiento Productivo Total. Universidad Industrial de Santander. Texto guía especialización en gerencia de mantenimiento. 2017

Basándose en la matriz de falla se diseñó un árbol de decisión el cual determina mediante un proceso lógico. Los tres grupos de criticidad son A, B y C, donde la mayor criticidad se encuentra en el grupo A y la menor en el grupo C. Bajo el enfoque de la norma NTC 5926-1, los componentes del grupo A acarrear la condición de No Cumple con defectos muy graves ya que son un inminente peligro

para el usuario y las instalaciones. Los componentes del grupo B conllevan un estado de Condicionado con defectos graves ya que presenta fallas en sistemas auxiliares que pueden convertirse en una lesión al usuario, pero permiten operar el elevador por 30 días más. Por último, el grupo C genera el estado de Cumple con fallos leves, los cuales se deben corregir antes de la siguiente inspección. La siguiente figura representa el árbol de decisión de criticidad

Figura 14. Árbol de decisión de criticidad.



Fuente: GIRALDO, Sebastián. Mantenimiento Productivo Total. Universidad Industrial de Santander. Texto guía especialización en gerencia de mantenimiento. 2017

En las siguientes tablas se muestra el análisis de criticidad realizado a los componentes de cada uno de los sistemas.

Tabla 11. Análisis de criticidad del sistema eléctrico

EQUIPO	SEGURIDAD DEL USUARIO		FACTOR DE RETRASO		INTERVALO DE FALLA		MANTENIBILIDAD		CRITICIDAD
Breaker principal 220 VAC	Una falla no causaria ninguna lesion al usuario	1	Una falla dejaria totalmente fuera de servicio al elevador	3	Dificilmente se presenta (menos de 1 vez al año)	1	Tiempo de reparacion de 2 horas o menos. Costo menor a \$7M	1	GRADO A
Transformador principal 220VAC-380VAC	Una falla no causaria ninguna lesion al usuario	1	Una falla dejaria totalmente fuera de servicio al elevador	3	Dificilmente se presenta (menos de 1 vez al año)	1	Tiempo de reparacion de 2 horas o menos. Costo menor a \$7M	1	GRADO A
Transformador secundario 24VDC – 110/220 VAC	Una falla no causaria ninguna lesion al usuario	1	No compromete el funcionamiento de algun sistema del elevador	1	Dificilmente se presenta (menos de 1 vez al año)	1	Tiempo de reparacion de 2 horas o menos. Costo menor a \$7M	1	GRADO C
Fuente de 24 Voltios DC	Una falla no causaria ninguna lesion al usuario	1	Una falla podria comprometer una de las funciones auxiliares del elevador	2	Dificilmente se presenta (menos de 1 vez al año)	1	Tiempo de reparacion de 2 horas o menos. Costo menor a \$7M	1	GRADO C
Rectificadores de corriente	Una falla no causaria ninguna lesion al usuario	1	Una falla dejaria totalmente fuera de servicio al elevador	3	Dificilmente se presenta (menos de 1 vez al año)	1	Tiempo de reparacion de 2 horas o menos. Costo menor a \$7M	1	GRADO A
Contactor del freno	Una falla no causaria ninguna lesion al usuario	1	Una falla dejaria totalmente fuera de servicio al elevador	3	Dificilmente se presenta (menos de 1 vez al año)	1	Tiempo de reparacion de 2 horas o menos. Costo menor a \$7M	1	GRADO A
Contactor principal del motor	Una falla no causaria ninguna lesion al usuario	1	Una falla dejaria totalmente fuera de servicio al elevador	3	Dificilmente se presenta (menos de 1 vez al año)	1	Tiempo de reparacion de 2 horas o menos. Costo menor a \$7M	1	GRADO A
Resistencias de frenado	Una falla no causaria ninguna lesion al usuario	1	Una falla podria comprometer una de las funciones auxiliares del elevador	2	Falla recurrente (cada 6 meses o mas)	3	Tiempo de reparacion entre 2 y 7 horas. Costo entre \$7M a \$20M	2	GRADO B
Relevos térmicos (Bobina 24 VDC)	Una falla no causaria ninguna lesion al usuario	1	No compromete el funcionamiento de algun sistema del elevador	1	Dificilmente se presenta (menos de 1 vez al año)	1	Tiempo de reparacion mas de 7 horas. Costo superior a \$20M	3	GRADO C
Cableado eléctrico	Una falla no causaria ninguna lesion al usuario	1	No compromete el funcionamiento de algun sistema del elevador	1	Dificilmente se presenta (menos de 1 vez al año)	1	Tiempo de reparacion de 2 horas o menos. Costo menor a \$7M	1	GRADO C
Temporizadores	Una falla no causaria ninguna lesion al usuario	1	No compromete el funcionamiento de algun sistema del elevador	1	Dificilmente se presenta (menos de 1 vez al año)	1	Tiempo de reparacion de 2 horas o menos. Costo menor a \$7M	1	GRADO C
Fusibles	Una falla no causaria ninguna lesion al usuario	1	No compromete el funcionamiento de algun sistema del elevador	1	Dificilmente se presenta (menos de 1 vez al año)	1	Tiempo de reparacion de 2 horas o menos. Costo menor a \$7M	1	GRADO C
Relé J o de inversión de fases	Una falla no causaria ninguna lesion al usuario	1	No compromete el funcionamiento de algun sistema del elevador	1	Dificilmente se presenta (menos de 1 vez al año)	1	Tiempo de reparacion de 2 horas o menos. Costo menor a \$7M	1	GRADO C

Tabla 12. Análisis de criticidad del sistema mecánico

EQUIPO	SEGURIDAD DEL USUARIO		FACTOR DE RETRASO		INTERVALO DE FALLA		MANTENIBILIDAD		CRITICIDAD
Guías o rieles metálicos en forma de T	Una falla no causaría ninguna lesión al usuario	1	Una falla podría comprometer una de las funciones auxiliares del elevador	2	Falla una vez al año aproximadamente	2	Tiempo de reparación entre 2 y 7 horas. Costo entre \$7M a \$20M	2	GRADO B
Brackets, elementos metálicos en forma de C	Una falla no causaría ninguna lesión al usuario	1	No compromete el funcionamiento de algun sistema del elevador	1	Difícilmente se presenta (menos de 1 vez al año)	1	Tiempo de reparación de 2 horas o menos. Costo menor a \$7M	1	GRADO C
Uniones	Una falla no causaría ninguna lesión al usuario	1	No compromete el funcionamiento de algun sistema del elevador	1	Difícilmente se presenta (menos de 1 vez al año)	1	Tiempo de reparación de 2 horas o menos. Costo menor a \$7M	1	GRADO C
Lubricadoras	Una falla no causaría ninguna lesión al usuario	1	No compromete el funcionamiento de algun sistema del elevador	1	Difícilmente se presenta (menos de 1 vez al año)	1	Tiempo de reparación de 2 horas o menos. Costo menor a \$7M	1	GRADO C
Poleas de reenvío	Una falla no causaría ninguna lesión al usuario	1	Una falla podría comprometer una de las funciones auxiliares del elevador	2	Difícilmente se presenta (menos de 1 vez al año)	1	Tiempo de reparación de 2 horas o menos. Costo menor a \$7M	1	GRADO C
Terminales de tracción	Una Falla podría causar serios daños al usuario	3	Una falla dejaría totalmente fuera de servicio al elevador	3	Difícilmente se presenta (menos de 1 vez al año)	1	Tiempo de reparación entre 2 y 7 horas. Costo entre \$7M a \$20M	2	GRADO A
Guayas de anti giro	Una falla no causaría ninguna lesión al usuario	1	No compromete el funcionamiento de algun sistema del elevador	1	Falla una vez al año aproximadamente	2	Tiempo de reparación entre 2 y 7 horas. Costo entre \$7M a \$20M	2	GRADO B
Buffer o resorte	Una falla no causaría ninguna lesión al usuario	1	No compromete el funcionamiento de algun sistema del elevador	1	Difícilmente se presenta (menos de 1 vez al año)	1	Tiempo de reparación de 2 horas o menos. Costo menor a \$7M	1	GRADO C
Aceite hidráulico del resorte	Una falla no causaría ninguna lesión al usuario	1	No compromete el funcionamiento de algun sistema del elevador	1	Falla una vez al año aproximadamente	2	Tiempo de reparación de 2 horas o menos. Costo menor a \$7M	1	GRADO C
Micro o final de carrera	Una falla podría provocar lesiones leves al usuario	2	Una falla podría comprometer una de las funciones auxiliares del elevador	2	Difícilmente se presenta (menos de 1 vez al año)	1	Tiempo de reparación de 2 horas o menos. Costo menor a \$7M	1	GRADO C
Base metálica sobre la cual descansa el sistema de amortiguación.	Una falla no causaría ninguna lesión al usuario	1	No compromete el funcionamiento de algun sistema del elevador	1	Difícilmente se presenta (menos de 1 vez al año)	1	Tiempo de reparación de 2 horas o menos. Costo menor a \$7M	1	GRADO C

Tabla 13. Análisis de criticidad para el sistema de control

EQUIPO	SEGURIDAD DEL USUARIO		FACTOR DE RETRASO		INTERVALO DE FALLA		MANTENIBILIDAD		CRITICIDAD
MICROPROCESADOR PROGRAMABLE(TARJETA MAIN)	Una falla no causaria ninguna lesion al usuario	1	Una falla dejaria totalmente fuera de servicio al elevador	3	Dificilmente se presenta (menos de 1 vez al año)	1	Tiempo de reparacion entre 2 y 7 horas. Costo entre \$7M a \$20M	2	GRADO A
VARIADOR DE FRECUENCIA	Una falla no causaria ninguna lesion al usuario	1	Una falla dejaria totalmente fuera de servicio al elevador	3	Dificilmente se presenta (menos de 1 vez al año)	1	Tiempo de reparacion mas de 7 horas. Costo superior a \$20M	3	GRADO A
SENSOR DE PUERTAS	Una Falla podria causar serios daños al usuario	3	Una falla podria comprometer una de las funciones auxiliares del elevador	2	Dificilmente se presenta (menos de 1 vez al año)	1	Tiempo de reparacion de 2 horas o menos. Costo menor a \$7M	1	GRADO A
SENSOR INDUCTIVOS DE PANTALLAS O	Una falla no causaria ninguna lesion al usuario	1	Una falla podria comprometer una de las funciones auxiliares del elevador	2	Dificilmente se presenta (menos de 1 vez al año)	1	Tiempo de reparacion de 2 horas o menos. Costo menor a \$7M	1	GRADO C
CELDA DE SOBRECARGA	Una falla no causaria ninguna lesion al usuario	1	No compromete el funcionamiento de algun sistema del elevador	1	Dificilmente se presenta (menos de 1 vez al año)	1	Tiempo de reparacion de 2 horas o menos. Costo menor a \$7M	1	GRADO C
ENCODER	Una falla no causaria ninguna lesion al usuario	1	No compromete el funcionamiento de algun sistema del elevador	1	Dificilmente se presenta (menos de 1 vez al año)	1	Tiempo de reparacion entre 2 y 7 horas. Costo entre \$7M a \$20M	2	GRADO C
OPERADOR DE PUERTAS	Una falla no causaria ninguna lesion al usuario	1	Una falla podria comprometer una de las funciones auxiliares del elevador	2	Dificilmente se presenta (menos de 1 vez al año)	1	Tiempo de reparacion de 2 horas o menos. Costo menor a \$7M	1	GRADO C
MICROS DE LINEA DE SEGURIDAD	Una falla no causaria ninguna lesion al usuario	1	Una falla dejaria totalmente fuera de servicio al elevador	3	Dificilmente se presenta (menos de 1 vez al año)	1	Tiempo de reparacion mas de 7 horas. Costo superior a \$20M	3	GRADO A
PERIFERICOS	Una falla no causaria ninguna lesion al usuario	1	Una falla podria comprometer una de las funciones auxiliares del elevador	2	Falla una vez al año aproximadamente	2	Tiempo de reparacion de 2 horas o menos. Costo menor a \$7M	1	GRADO C

6. LISTADO DE PROCEDIMIENTOS PARA TRABAJO SEGURO

Los procedimientos de trabajo seguro dan a conocer los requisitos mínimos que deben ser incluidos en labores de identificación de fallas de alto riesgo, mantenimiento de cualquier índole y durante la atención de llamadas de emergencia. Se definen tres procedimientos básicos los cuales se aplican en todas las labores de mantenimiento y de igual forma se definen tres procedimientos de tareas específicas que se aplican en la operación diaria del equipo. Los siguientes procedimientos están basados bajo la norma EN81-1 (Representante española ante la ISO). La norma EN81-1 se destaca mundialmente por sus estándares y procedimientos de seguridad rigurosos para salvaguardar la integridad de los usuarios y el personal de mantenimiento.

6.1 PROCEDIMIENTOS BASICOS

6.1.1 Procedimiento seguro para acceso/salida del techo de cabina.

- Encienda la iluminación del pasadizo si existe un interruptor externo
- Haga una llamada a la cabina
- Haga (registre) dos llamadas de cabina a pisos inferiores
- Detenga la cabina en una posición de acceso abriendo la puerta de corredor usando el dispositivo de desbloqueo de puerta o llave de emergencia;
- Abrir la puerta de pasadizo/corredor usando la llave de emergencia y bloquear la puerta mecánicamente
- Esperar 10 segundos para verificar que el carro no se movió
- Colocar/Activar el paro de emergencia del techo de cabina
- Retirar el bloqueador de puerta y cerrar la puerta de pasadizo
- Esperar 10 segundos para verificar que el carro no se movió abriendo la puerta nuevamente;

- Bloquear la puerta mecánicamente
- Colocar el interruptor de inspección en modo INS – Inspección
- Colocar el paro de emergencia en modo RUN-
- Retirar el bloqueador y cerrar la puerta
- Esperar 10 segundos, reabrir la puerta y verificar que el carro no se movió
- Regresar el Paro de Emergencia a “Stop”
- Ingresar al techo de cabina
- Encender la iluminación en el pasadizo, si el interruptor se encuentra en el techo de cabina;
- Proceder con el trabajo, operando el carro con los controles Arriba/Abajo y común
- Procedimiento Seguro de Salida
- Llevar la parte superior de la cabina al piso de salida y colocar el paro en la posición “Stop”;
- Abrir la puerta de pasadizo y bloquear mecánicamente. Colocar el paro en la posición de “run”.
- Probar y Verificar el funcionamiento del contacto de puerta activando los botones de inspección Subir/Bajar – NO DEBERIA MOVERSE;
- Activar el interruptor de paro en posición “Stop” (si el interruptor inspección/normal no puede alcanzarse desde el desembarque, dejar en modo “Normal” o desactivado)
- Desconectar la línea de restricción para caídas y salir del carro. Mantener cuidado de tomar una posición estable y balanceada al desembarque.
- Apagar la iluminación del techo del carro si no fuera más necesaria
- Regrese el interruptor de inspección a modo “Normal”, desactive el paro en posición “RUN” y cerrar la puerta de pasadizo
- Verificar que la cabina se encuentra operando apropiadamente antes de retirarse del edificio.

6.1.2 Procedimiento de seguridad para acceso/salida del pozo del elevador

- Encender la iluminación del pasadizo si el interruptor se encuentra por fuera
- Llevar el elevador desde dentro de la cabina al piso inferior de desembarque;
- Haga dos llamadas una para el piso de encima al acceso y otra para el piso más alto;
- Salga del elevador y espere a que las puertas se cierren;
- Abra la puerta de pasadizo usando la llave de emergencia/desbloqueador y observe que el carro se ha detenido;
- Usando el dispositivo de bloqueo, bloquear la puerta mecánicamente;
- Mantener una posición segura, alcanzar el interruptor de paro y activarlo;
- Retirar el bloqueador de la puerta, cerrar la puerta de pasadizo y esperar por 10 segundos;
- Abrir nuevamente la puerta y confirmar que el carro no se movió, encienda la iluminación del pozo
- Bloquear la puerta de pasadizo mecánicamente e ingresar al pozo.
- Cerrar la puerta del pasadizo hasta una distancia que prevenga el cierre de la puerta y prevenir que alguna persona pueda caer, instale el bloqueador nuevamente

Nota: Cuando el sistema del elevado no permita realizar múltiples llamadas, debe llevarse a cabo un procedimiento alternativo y autorizado para “probar y verificar” la cerradura de puerta de pasadizo y el interruptor de emergencia. Procedimiento de salida segura del pozo:

- Abrir totalmente la puerta de pasadizo y bloquearla mecánicamente;
- Salir del pozo prestar atención a riesgos de caída, retirar todas las herramientas;
- Apagar el interruptor de iluminación en el interior del pozo;
- Desactivar el interruptor de paro manteniendo una postura segura;

- Retirar el bloqueador y cierre la puerta de pasadizo;
- Verificar que el carro se encuentra operando apropiadamente antes de retirarse del edificio.
- Apagar la iluminación del pasadizo si el interruptor se encuentra por fuera

6.1.3 Poniendo el elevador fuera de servicio. Cada vez que una unidad se ponga fuera de servicio, como mínimo deberán ser tomados los siguientes pasos:

- Verificar que nadie se encuentra en el elevador
- Asegurar que las puertas de desembarque y las puertas de cabina estén cerradas
- Colocar advertencias (y/o barreras de servicio) en el carro del elevador y piso de acceso principal
- Colocar el ascensor en modo mantenimiento y/o inspección desde el control.
- Bloquear y etiquetar.

6.2 PROCEDIMIENTOS ESPECIFICOS

6.2.1 Elevador ubicado entre pisos (entre pisado) debido a interrupción de la cadena de seguridad en el techo de la cabina.

- Aplicar el procedimiento de Bloqueo y etiquetado para energía eléctrica (Numeral 6.1.3). Colocar en el control el ascensor en modo inspección o mantenimiento.
- Verificar y garantizar que las puertas de hall o pasadizo se encuentran mecánicamente bloqueadas, es decir, totalmente cerradas.
- Evaluar si es posible mover manualmente el equipo hasta un piso, en donde pueda realizar la inspección.
- En caso contrario, utilice los diagramas eléctricos para colocar un puente o jumpers en la cadena de seguridad. Retirar el bloqueo y etiquetado, encender

la energía, y mover el ascensor, a un lugar donde sea posible acceder al techo de la cabina de forma segura. Bloquear y etiquetar nuevamente.

- Hacer uso de las llaves de puertas de hall, para abrirlas y acceder al techo de la cabina.
- Realizar los ajustes requeridos o reparo según falla presentada por el ascensor.
- Al finalizar la tarea, salir del techo de la cabina o foso, cerrar las puertas de hall y asegurar que se encuentren bloqueadas mecánicamente
- Retirar los puentes o jumpers de la cadena de seguridad.
- Retirar el bloqueo y etiquetado y encender el interruptor de energía.
- Si el problema fue resuelto colocar la unidad en funcionamiento (Modo automático).

Acceso al techo del carro en condición de falla de cerradura de la puerta de pasillo o hall. Cuando un elevador se encuentra fuera de servicio debido a una falla en el seguro de la puerta de pasillo o hall y se requiera acceder al pasadizo, el procedimiento de seguridad para entrar/salir al techo del elevador/pozo debe ser el siguiente:

- Poner el elevador fuera de servicio asegurándose de seguir los procedimientos de seguridad (Numeral 6.1.3).
- Asegurar que todas las puertas de pasadizo se encuentren mecánicamente bloqueadas.
- Tomar el control del elevador en la inspección o modo mantenimiento en el control.
- Aplicar el procedimiento de bloqueo y etiquetado.
- Utilice los diagramas eléctricos para aplicar un puente o jumpers al circuito de puertas de hall.
- Retirar el bloqueo y etiquetado y encender la línea de energía principal.

- Mover el ascensor en modo inspección o mantenimiento hacia una posición donde el techo de la cabina pueda ser acceso de manera segura desde el piso superior.
- Usando el dispositivo para desbloqueo de la puerta de pasadizo abra la puerta de desembarque una distancia menor que 300 mm y revise la posición del elevador para evitar cualquier riesgo de caída.
- Aplicar el procedimiento de bloqueo y etiquetado
- Cambiar el elevador a modo inspección desde el techo del carro
- Retirar el bloqueo y etiquetado y encender la línea de energía principal.
- Verificar el interruptor de inspección del techo del carro.
- Registrar un llamado a la unidad y esperar 10 segundos para verificar que no se movió
- Aplicar procedimiento de bloqueo y etiquetado
- Oprimir el botón de PARO del techo del carro
- Cambiar el interruptor de inspección en el techo del carro a modo NORMAL
- Retirar el bloqueo y etiquetado y encender la alimentación de la línea principal.
- Registrar una llamada a la unidad y esperar 10 segundos para verificar que el carro no se movió
- Cambiar el elevador a modo inspección desde el techo del carro
- Ahora ha sido verificado el control del carro
- Ingresar al techo del carro y muévelo para permitir el acceso a la cerradura de la puerta de pasadizo
- Activar el interruptor de PARO del techo del carro
- Llevar a cabo el ajuste o trabajo de reparo necesario conforme los procedimientos estándar, manuales de campo y manuales de producto relevantes para el dispositivo.
- Cuando la tarea sea completada, lleve el carro hacia el piso superior, active el interruptor de paro y salga del techo del carro.

- Aplicar el procedimiento de bloqueo y etiquetado
- Retirar el Puente del circuito de la cerradura
- Coloque el interruptor de inspección del techo del carro en la posición NORMAL y desactive el paro de Emergencia (colóquelo en la posición de Corrida-Run).
- Retirar el bloqueo y etiquetado y encienda la unidad
- Si el problema se resolvió, regrese la unidad a servicio

6.2.2 Inspección visual, detección de fallas y ajuste de operación de freno. Si se identifica que el freno requiere de ajuste, limpieza o cualquier tipo de reparo que requiera desmantelar los componentes del freno, será necesario garantizar que toda la energía mecánica del elevador sea controlada.

- Dejar vacío el elevador y llevarlo hasta el piso superior
- Dejar el elevador fuera de servicio asegurando de seguir el procedimiento indicado en el numeral 6.1.3.
- Asegurar que las puertas de pasadizo se encuentran mecánicamente bloqueadas.
- Tomar el control del elevador en la inspección de cuarto de máquina,
- Usando el modo inspección o mantenimiento, llevar el elevador hacia arriba hasta que el contrapeso descansa completamente en el amortiguador/buffer.
- Aplique bloqueo y etiquetado.
- Para asegurar que el contrapeso ha descansado completamente y que toda la energía mecánica ha sido liberada, utilice el freno manual para levantar el freno.

NOTA: El elevador podría moverse ligeramente según la energía mecánica se libera.

- Llevar a cabo los reparos/ajustes necesarios de acuerdo a las instrucciones de trabajo estándar, manuales de campo y manuales relevantes para el freno.
- Para rehabilitar la unidad, llevar a cabo los siguientes pasos:
- Retirar el bloqueo y etiquetado y encender la unidad
- Correr el carro hacia abajo usando el modo inspección o mantenimiento.
- Asegurar que el amortiguador de aceite del contrapeso ha regresado a su posición completamente extendido.
- Usando el modo inspección o mantenimiento, observe el funcionamiento del freno, debe ser suave y no presentar ruidos/vibraciones inusuales.
- Si el freno funciona correctamente, lleve a cabo una verificación de paro del freno, acceder al carro y revisar la calidad de viaje y los niveles de piso dentro de tolerancia.

6.2.3 Recuperar un elevador de una condición de sobre-viaje. Cuando se lleve a cabo alguna actividad de detección de fallas que requiere recuperar un elevador de una condición de sobrecorrida, se deben seguir los siguientes pasos:

- Tomar el control del elevador.
- Desde el último piso inferior, utilice el dispositivo para desbloqueo de puerta de desembarque y abra la puerta menos de 300 mm para verificar la ubicación del elevador
- Asegúrese que todas las puertas de desembarque se encuentran mecánicamente bloqueadas.
- Tomar el control del elevador desde la Inspección del cuarto de máquinas usando el modo mantenimiento.
- Mover el elevador en la dirección adecuada para recuperar el elevador desde la parte superior (overhead).

- Si la unidad está equipada con amortiguadores hidráulicos, posicione el elevador para poder acceder de manera segura al pozo.
- Para amortiguadores hidráulicos que no estén equipados con interruptores de amortiguador, llevar a cabo una inspección del carro o del amortiguador del contra peso (CWT) para asegurar que hayan sido recuperados totalmente antes de poner el elevador de vuelta a servicio.
- Si el problema fue resuelto, retire las barreras y coloque el elevador en servicio.

7. EVALUACION DE LA NORMA NTC 5926-1

7.1. PROPUESTA DE MEJORA EN LOS LITERALES DE LA NORMA NTC 5926-1

En el sector del transporte vertical existen sin número de oportunidades de mejora en los diferentes procesos del mantenimiento, específicamente en el preventivo. Por tanto, es importante analizar los diferentes aspectos que contribuyen a la mejora del proceso de mantenimiento preventivo y adoptar procedimientos encaminados a dar cumplimiento a la norma NTC 5926-1 que rige el transporte vertical en Colombia.

No obstante, la norma NTC 5926-1 carece de ciertos criterios y alcances, por lo cual se proponen las siguientes acciones de mejora para garantizar la operatividad de los ascensores y seguridad de los usuarios:

- Dentro del perfil del inspector del organismo de inspección, se admiten bachilleres con una experiencia en instalación y/o mantenimiento de ascensores, mínima de 5 años. Se considera que un bachiller (a pesar de tener 5 años de experiencia en ascensores) no cuenta con las competencias y/o conceptos propios de un tecnólogo o profesional de la ingeniería.
- Estandarizar el proceso de inspección y certificación de los ascensores, con el fin de lograr la unificación de conceptos y criterios para la evaluación de la norma, teniendo en cuenta que es muy frecuente que existan diferencias en los resultados de los informes o inspecciones realizadas por dos compañías de certificación sobre un mismo equipo.
- En el proceso de inspección y certificación de los ascensores se propone incluir pruebas de resistencias a los rieles de cabina y de contrapeso, además de los soportes (también conocidos como brackets), teniendo en cuenta que son los encargados de mantener la rigidez del sistema mecánico, y el no funcionamiento adecuado podría colocar en riesgo la vida de los usuarios.
- Se debe reestructurar y revisar la evaluación de las no conformidades debido a que se catalogan como leves hallazgos que deberían ser muy graves o

viceversa, lo cual carece de criterios y limita los alcances de la norma en temas de seguridad. Un claro ejemplo es catalogar como **LEVE** la presencia de oxidación en los cables de tracción, cuando realmente debería ser una no conformidad **MUY GRAVE** al tratarse de los elementos que suspenden y mantienen sujeta la cabina con el contrapeso del ascensor.

- Las compañías encargadas de realizar los procesos de inspección y certificación deberían presentar antes de hacer cualquier revisión a los equipos, los certificados de calibración de los elementos de medición. Esto debería ser requisito mínimo por parte de la norma NTC 5926-1.
- En la rutina de inspección y certificación de los ascensores se debe incluir la revisión de puntos calientes mediante el uso de cámaras de termografía, al igual que la revisión de movimientos laterales y estado del sistema de rieles tanto de cabina como de contrapeso mediante el uso de dispositivos para el estudio de vibraciones laterales y verticales en condiciones estándar de velocidad nominal.
- El alcance del proceso de inspección y certificación de la norma NTC 5926-1 debería comprender la verificación de las competencias y habilidades del personal del edificio (previamente entrenados por las compañías de mantenimiento de los ascensores) para la atención de emergencias, tales como personas atrapadas, teniendo en cuenta que solo se limitan a verificar la existencia o no de llaves de apertura de puertas en el edificio.

8. CONCLUSIONES

La implementación de la metodología RCM permite desarrollar habilidades de análisis y fomenta en el técnico de mantenimiento el desarrollo de actividades mediante el seguimiento de procedimientos. La búsqueda de fallas ocultas y la constante retroalimentación de fallas funcionales y modos de falla permite crear y mantener un sistema en continua mejora que garantiza alta confiabilidad en los equipos.

Con la implementación de la metodología RCM se logró diseñar un plan de mantenimiento mensual con actividades e intervalos de tiempo de ejecución claros, garantizando la confiabilidad de los componentes mecánicos, eléctricos y de control que conforman al ascensor, y conllevando a la disminución de accidentes y fatalidades presentadas en los sistemas de transporte vertical en Colombia.

El impacto del RCM en la confiabilidad del ascensor es muy alta, ya que se tienen identificados los modos de falla los cuales se convierten en una herramienta muy útil para el técnico para realizar un mantenimiento preventivo eficiente y reaccionar rápidamente antes emergencias.

En este documento quedó plasmado un plan de mantenimiento para ascensores de accionamiento eléctrico el cual podría ser implementado con facilidad por parte del departamento de mantenimiento de cualquier compañía de transporte vertical que no cuente con una guía mensual de tareas o actividades de mantenimiento, y que contemple salvaguardar la seguridad de sus técnicos mediante la aplicación de procedimientos estándares de trabajo seguro. El plan de mantenimiento es la herramienta más importante que se tiene para alcanzar la disponibilidad operacional deseada, y al basarse en la metodología del RCM también provee facilidades para ejecutar el mantenimiento a un costo óptimo.

BIBLIOGRAFIA

AGENCIA SINC. [En línea]. [Recuperado 20 junio de 2019]. Disponible en <https://www.agenciasinc.es/Multimedia/Ilustraciones/El-industrial-aleman-que-dio-nombre-a-Siemens>

Consejo de Bogotá. (Decreto 20 de 1995). Código de construcción.

Consejo de Bogotá. (Decreto 663 de 2011). FOPAE.

Consejo Distrital de Cartagena de Indias. (Acuerdo 16, 29 de noviembre de 2016). Revisión Obligatoria de Ascensores.

CRAWFORD, Mark. Elisha Graves Otis. [En línea]. [Recuperado 8 de junio de 2019]. Disponible en <https://www.asme.org/topics-resources/content/elisha-graves-otis>

EL TIEMPO. Ascensor que se desplomo en palacio de justicia había presentado fallas. [En línea]. [Recuperado 17 de mayo de 2019]. Disponible en <https://www.eltiempo.com/colombia/cali/ascensor-que-se-desplomo-en-palacio-de-justicia-de-cali-habia-presentado-fallas-256548>

GIRALDO, Sebastián. Mantenimiento Productivo Total. Universidad Industrial de Santander. Texto guía especialización en gerencia de mantenimiento. 2017

HINOJOSA, Jesús. Las ayudas para instalar ascensores se concederán a partir de julio. [En línea]. Disponible en <https://www.diariosur.es/malaga-capital/201605/17/ayudas-para-instalar-ascensores-20160516221133.html>.

HOYOS, Sandra. Calamidad en ascensor de colegiatura de moda afecto a cuatro estudiantes [En línea]. [Recuperado 18 de marzo de 2019] Disponible en <https://www.minuto30.com/calamidad-en-ascensor-de-colegiatura-de-moda-afecto-a-cuatro-estudiantes/590734/>

LA FM. Advierten que 80% de ascensores en Bogotá no cuentan con certificados. [En línea]. [Recuperado 27 de noviembre de 2018]. Disponible en <https://www.lafm.com.co/bogota/advierten-que-80-de-ascensores-en-bogota-no-cuentan-con-certificados-de-seguridad>

MITSUBISHI ELECTRIC. Datos históricos de los ascensores. [En línea]. [Recuperado 23 de junio de 2019]. Disponible en <http://www.mitsubishielectric.com/elevator/es/overview/elevators/history.html>

MOUBRAY, John. (2004). Mantenimiento centrado en Confiabilidad RCM II. (S. A. Elman, Trad.) Leicester, Reino Unido: Aladon LLC.

PASCUAL, Jota. Componentes de seguridad en un ascensor. [En línea]. Disponible en <http://ascensoresjpascual.blogspot.com/2014/03/componentes-de-seguridad-en-un-ascensor.html>

PLATA ORTIZ, Daniel. Módulo de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Universidad Industrial de Santander. Texto guía especialización en gerencia de mantenimiento. 2017

SAE. (1999). Norma SAE JA1011. Warrendale.

SAE. (2002). Norma SAE JA1012. Warrendale.

VIVAS CAMACHO, Fredy Alexander. Modelo de Mantenimiento basado en la confiabilidad RCM para los ascensores de carga de la empresa Falabella Colombia. Universidad Industrial de Santander. Trabajo de grado, 2018.