

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARIA
SEDE VIÑA DEL MAR - JOSÉ MIGUEL CARRERA

PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD PARA
ASCENSOR FUNICULAR DE VALPARAÍSO

Trabajo de Titulación para optar al
Título de Ingeniero de Ejecución en
MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

Alumno:

Wladimir Esteban Cornejo Rojas

Profesor Guía:

Mq. Ing. Carlos Baldi Gonzalez

2018

DEDICATORIA

Al amor invencible de mis padres: Rodolfo Osvaldo Cornejo Moraga y Eugenia del Carmen Rojas Altamirano. Gracias por enseñarme el valor del sacrificio y el gran poder de la voluntad. A mis hermanos mayores: Rodolfo, Richard y Claudio. Todos ustedes fueron partícipes de la ilusión detrás de este proyecto, de la necesidad de no sólo realizar un trabajo meritorio de una calificación, sino de que este documento fuese un real aporte a algo más que uno mismo

A la ciudad escenario de mis aventuras, mi querido Valparaíso; valle de mis pasiones, que me enseñó con dolor la belleza de la contemplación cuando me alejé de ella.

Al primer sector del Cerro Playa Ancha, que me embelesó con su Ventisqueros y acantilados mortales. Ahí, donde se jugaba con la tierra.

A mis amigos quienes han compartido el peregrinaje por un mundo, muchas veces un poco extraño: es un honor habernos encontrado en esta vida.

A la legión de los albatros dorados quienes despertaron en mí la pasión por la ingeniería que yacía durmiente.

A Don Nicolás y Don Luis por tenderme una mano cuando se veía cuesta arriba.

A la Hermandad Valentía por el vigor de los corazones que la conforman.

A todos, muchas gracias porque “gracias” se volvió mi palabra más nombrada.

RESUMEN EJECUTIVO

KEYWORDS: ASCENSOR FUNICULAR EL PERAL, MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD, ISED.

El ascensor funicular: elemento distintivo del puerto más importante de la República de Chile que lleva ya un poco más de una centuria desempeñándose en la tarea de izar compatriotas y extranjeros desde las faldas del *plan* hasta las crestas del cerro o *viceversa*. Un medio de contribución hacia el escenario en el cual nos desenvolvemos es la salvaguarda de aquellos elementos en los cuales cada historia individual desarrollada por el ciudadano común convergen, y el punto de encuentro de estas es sin lugar a dudas el patrimonio que los identifica. Dentro del contexto previamente descrito, surge el interés de analizar y recopilar un conjunto de técnicas ingenieriles en pos de crear un plan de mantenimiento basado en la confiabilidad dirigido al ascensor funicular El Peral con la finalidad de mitigar las recurrentes detenciones del servicio que caracterizan a este transporte en la totalidad de aquellos que actualmente se encuentran en operación.

Valparaíso tanto a nivel organizacional como ciudadano, desde la inauguración de El Peral en 1901 hasta ser nombrado Patrimonio de la Humanidad por parte de la UNESCO el 2003, aplacó el amplio grado de realce dado inicialmente a este medio de transporte a causa del auge que experimentaron las nuevas alternativas de movilización. Como consecuencia, el financiamiento de proyectos de renovación y modernización de planes de mantenimiento por parte del municipio no fueron en beneficio del ya *obsoleto* funicular, afectando circunstancialmente su operatividad. Sin embargo, el obtener esta nominación el 2003, marcó un punto de inflexión que permitió reconocer la relevancia que El Peral tenía y sigue teniendo como transporte y reliquia histórica, activando una gestión municipal en atención de los ascensores sin precedentes.

El año 2016 el funicular experimenta la más grande gestión de renovación de equipos de sus últimas décadas: el proyecto *Mejoramiento integral Ascensor El Peral de Valparaíso*. Es sobre este nuevo escenario que se tiene lugar la aplicación de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RMC) con el propósito de permitir que el funicular opere de manera prevista sin incidentes por un período de tiempo previamente establecido y bajo condiciones indicadas.

La planificación de los recursos ha sido una acción fundamental al momento de llevar a cabo el proyecto de mantenimiento, concentrando el esfuerzo en optimizar la

administración del capital de manera objetiva, considerando la adquisición de insumos, elementos de protección personal, salarios y logística.

Gracias a todo lo previamente mencionado se consiguió sustentar el objetivo principal de elaborar un plan de mantenimiento a la altura de un elemento patrimonial, en donde la exposición de El Peral frente a discrepancias que amenazaban su operatividad se vieron mitigadas mediante acciones de mantenimiento acorde a las condiciones de operación. Sin duda alguna la relevancia es circunstancial a la hora de mantener un registro del comportamiento de los equipos que conforman al sistema, permitiendo en base a sus historiales analizar el desempeño del equipo a lo largo de una línea de tiempo determinada. De esta manera, se agiliza la vía para la aplicación de las nuevas técnicas de mantenimiento que se puedan desarrollar a futuro. La meta siempre es la optimización.

SIGLAS Y ACRÓNIMOS

UNESCO	:	United Nation Educational, Scientific and Cultural Organization
MCC	:	Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad
RCM	:	Reliability Centred Maintenance
PLC	:	Programmable Logic Controller
ISED	:	Instalaciones, Sistemas, Equipos y Dispositivos
GORE	:	Gobierno Regional
ITO	:	Inspección Técnica de Obras
SEREMI	:	Secretario(a) Regional Ministerial de Chile
MINVU	:	Ministerio de Vivienda y Urbanismo
CORFO	:	Corporación de Fomento de la Producción
AF	:	Alma de Fibra
VFD	:	Variable Frequency Drive (Variador de Frecuencia)
SAE	:	Society of Automotive Engineers (Sociedad de Ingenieros Automotores)
AMEF	:	Análisis de Modos y Efectos de Falla
IPR	:	Índice de Prioridad de Fallas
MTBF	:	Mean Time Between Failures (Tiempo Medio Entre Fallas)
MTTR	:	Mean Time To Repair (Tiempo Medio para Reparar)
H/H	:	Horas/Hombre
NDI	:	Non Destructive Inspection (Inspección No Destructiva)
ITO	:	Inspector Técnico de Obras
API	:	Application Programming Interface (Interfaz de Programación de Aplicaciones)

SIMBOLOGIA

°	:	Símbolo de grado (sexagesimal)
'	:	Apóstrofo simple (minuto)
"	:	Apostrofo doble (segundo)
S	:	Sur

W	:	Oeste
km ²	:	Kilómetro cuadrado (unidad de medida de área)
mg	:	Miligramo (unidad de medida de masa)
Cl-	:	Cloruro
m ²	:	Metro cuadrado (unidad de medida de área)
Art.	:	Artículo
kp	:	Kilopondio
mpm	:	Miles per minute o milla por minuto (unidad de medida de velocidad)
mm	:	Milímetro (unidad de medida de longitud)
L	:	Litro (unidad de medida de volumen)
kN	:	Kilonewton (unidad de medida de fuerza)
km/h	:	Kilómetros por hora (unidad de medida de velocidad)
kg/m	:	kilogramo-fuerza/ metros (unidad de medida de masa nominal)
Hz	:	Hercio o Hertz (unidad de medida de frecuencia)
V	:	Voltio (unidad de medida de tensión eléctrica)
kW	:	Kilowatt (unidad de medida de potencia)
N	:	Newton (unidad de medida de fuerza)
A	:	Amperio (unidad de medida de corriente eléctrica)
MPa	:	Megapascales (unidad de medida de presión)
rpm	:	Revoluciones por minuto (unidad de medida de velocidad angular)
Nm	:	Newton-metro (unidad de medida de esfuerzo de torsión)

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN..... 1

OBJETIVOS..... 2

CAPÍTULO 1: DESCRIPCIÓN 3

1.1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE LOS ASCENSORES FUNICULARES EN VALPARAÍSO 4

1.2. HISTORIA DEL ASCENSOR FUNICULAR EL PERAL 5

1.3. MAPA DE UBICACIÓN DE ASCENSOR FUNICULAR EL PERAL 6

1.4. DESCRIPCIÓN DEL ASCENSOR FUNICULAR 6

1.5. SITUACIÓN ACTUAL 7

1.6. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 8

 1.6.1. Diagrama de Ishikawa..... 10

1.7. MARCO TEÓRICO..... 11

1.8. ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL 12

 1.8.1. Organigrama municipal..... 12

 1.8.2. Propósito de los departamentos..... 13

1.9. PROGRAMA DE INSPECCIÓN 14

 1.9.1. Ficha de Inspección (ANEXO A)..... 14

 1.9.2. Lista de chequeo..... 15

CAPÍTULO 2: ANÁLISIS DEL PLAN DE MANTENIMIENTO 16

2.1. OPERACIÓN DEL SISTEMA FUNICULAR 17

2.2. ANÁLISIS DE CRITICIDAD 20

2.3. ELEMENTOS CRÍTICOS..... 21

2.4. PLAN DE MANTENIMIENTO..... 33

 2.4.1. Descripción Método AMEF 33

 2.4.2. Aplicación Método AMEF..... 36

 2.4.3. Índice de Prioridad de Riesgo 39

 2.4.4. Tareas Proactivas de Mantenimiento 45

 2.4.5. Confiabilidad..... 52

 2.4.6. Herramientas e Insumos..... 56

 2.4.7. Perfil del Mantenedor..... 58

CAPÍTULO 3: ANÁLISIS ECONÓMICO DEL MANTENIMIENTO..... 59

3.1. GESTIÓN DE COSTOS 60

 3.1.1. Descripción de Gestión de Costos 60

 3.1.2. Aplicación de Gestión de Costos 61

 3.1.3. Registros de Costos Municipio 66

3.2. ANÁLISIS DE VIABILIDAD 67

 3.2.1. Factor Jurídico..... 67

 3.2.2. Factor Social..... 67

 3.2.3. Factor Financiero 68

CONCLUSIÓN..... 69

RECOMENDACIONES 70
BIBLIOGRAFÍA.....71
ANEXOS.....73

ÍNDICE DE FIGURAS

**FIGURA 1.1. ANTIGUA POSTAL DEL ASCENSOR FUNICULAR
EL PERAL DESDE PLAZA SOTOMAYOR.....5**
**FIGURA 1.2. UBICACIÓN DE ASCENSOR FUNICULAR EL PERAL
EN MAPA DE VALPARAÍSO.....6**
**FIGURA 1.3. NOMENCLATURA DEL CONJUNTO DE TRANSMISIÓN
MECÁNICA.....7**
**FIGURA 1.4. VISTA DE ESTACIÓN SUPERIOR DEL ACTUAL ASCENSOR
FUNICULAR EL PERAL Y PALACIO BABURIZZA.....8**
FIGURA 1.5. CONCENTRACIÓN DE CL- EN ZONAS DE ENSAYOS.....9
FIGURA 2.1. GRÁFICA DE PLANTA BAJA DE ESTACIÓN SUPERIOR.....17
FIGURA 2.2. GRÁFICA DE PLANTA ALTA DE ESTACIÓN SUPERIOR.....19
**FIGURA 2.3. DIAGRAMA DE FUERZA CARROS DE TRANSPORTE DE
PASAJEROS.....19**
**FIGURA 2.4. CUATRO AMORTIGUADORES MONTADOS EN ESTACIÓN
INFERIOR DE FUNICULAR EL PERAL.....22**
**FIGURA 2.5. CARRO DE TRANSPORTE DE PASAJEROS 2 DESDE LA
ESTACIÓN SUPERIOR.....22**
FIGURA 2.6. CABLE “T” Y CABLE “T1” SOBRE ROLETE GUÍA.....23
FIGURA 2.7. RIEL GUÍA DE CONDUCCIÓN.....24
FIGURA 2.8. SISTEMA DE PROTECCIÓN ANTIVUELCO DE CARRO 1.....24
**FIGURA 2.9. SISTEMA DE EMERGENCIA DE CHASIS DEL
CARRO DE TRANSPORTE DE PASAJEROS.....25**
FIGURA 2.10. RUEDA DE ACERO DE FUNDICIÓN.....26
FIGURA 2.11. SENSORES DE CONTACTO DEL CARRO 2.....27
**FIGURA 2.12. SENSOR DE CONTACTO DE DESACELERACIÓN
ACTIVADO.....27**
FIGURA 2.13. MOTOR ELÉCTRICO EN ESTACIÓN SUPERIOR.....28

FIGURA 2.14. SISTEMA DE FRENO DE SERVICIO.....	29
FIGURA 2.15. MOTOR DE FRENADO JUNTO A TAMBOR MEDIAL.....	29
FIGURA 2.16. DESCANSO PLANTA ALTA.....	30
FIGURA 2.17. DESCANSO TIPO SNK528.....	31
FIGURA 2.18. DESCANSO TIPO SNG517.....	31
FIGURA 2.19. VISTA DEL SISTEMA DE FRENADO DE EMERGENCIA.....	32
FIGURA 2.20. BALATA DE MADERA CENTRAL.....	32
FIGURA 3.1. ING. LOURIVAL TAVARES.....	53

ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1.1. LISTA DE CHEQUEO DE ASCENSORES FUNICULARES DE VALPARAÍSO.....	15
GRÁFICO 2.1. FORMATO DE ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA.....	34
GRÁFICO 3.1. ESCALA DE SUELDOS MENSUAL DE FUNCIONARIOS MUNICIPALES (EN PESOS CHILENOS).....	62

INTRODUCCIÓN

La necesidad del transporte constituye una peculiar fotografía de cualquier estructura social; siendo el análisis de la movilización un reflejo de ella, del cómo se distribuyen las viviendas, comercios, empleos, espacios de circulación, etcétera. Sin embargo, a pesar de las vastas y modernas opciones de transporte existentes que vinculan a las diferentes arterias de Valparaíso tales como el transporte colectivo masivo [*micro*] y los taxis colectivos, uno de los medios más representativos que hacen de esta ciudad una sin par en el mundo entero son sus ascensores funiculares.

Por décadas, el quehacer de estas históricas maquinarias se vio enfrentado a la implacable salinidad costera, al deterioro de su infraestructura, al maltrato de sus elementos, a la demanda por parte de la población de entre 7 a 23 horas diarias, al abandono de las autoridades y a la falta de inversión por parte de sus dueños. A consecuencia de esto, los planes de mantenimiento desde aquel entonces hasta la actualidad, deben atender cada vez una mayor cantidad de discrepancias y buscar su total optimización, fruto del paso de tiempo y del proceso natural de un servicio prolongado. Esto desencadena la continua detención del clave servicio que estos elevadores ofrecen a la comunidad. No obstante, la nominación del casco histórico de la ciudad como *Patrimonio de la Humanidad* por parte de la UNESCO en el año 2003, fue significativa para la conciencia colectiva de los residentes de la región, realzando el grado de relevancia que estos singulares medios de transporte poseen como mecanismo inconcuso de la identidad del *porteño*. El ascensor funicular El Peral es parte de una red de funiculares distribuidos a lo largo de los 2.780 Km² de superficie que conforman a la Provincia de Valparaíso. Pero, ¿Qué relevancia tiene este ascensor funicular?:

- El atractivo turístico de sus destinos tanto en su estación superior (Paseo Yugoslavo) como baja (Plaza Justicia).
- Ser una de las vías de acceso al Museo Municipal de Bellas Artes de Valparaíso: el Palacio Baburizza (estación superior).
- Ser una de las vías de acceso a la Corte de Apelaciones de Valparaíso (estación inferior).
- Formar parte de un transporte patrimonial, testigo del desarrollo de la ciudad a lo largo de la historia.
- Huella representativa del puerto de Valparaíso en el extranjero.
- Servicio de transporte alternativo.
- Ser una fuente laboral.

- Significar un medio de ingresos de activo capital a la Ilustre Municipalidad de Valparaíso a través del servicio de transporte que ofrece y su fomento del turismo.

El análisis a presentar se dirige a la aplicación de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para el ascensor funicular previamente mencionado evocado a sus componentes de alta criticidad con la finalidad de reducir la detención del servicio de movilización que este significa para sus usuarios y no redundar en el mantenimiento correctivo como única alternativa de solución de discrepancias. El establecimiento de un plan de mantenimiento es primordial en toda organización que pretenda prolongar sus servicios a lo largo del tiempo. Para lograrlo, es necesario generar estrategias que faciliten y aseguren la una óptima operatividad. Un punto fundamental en el análisis es el hecho de que existe una gran diferencia en cuanto a las demandas de los distintos ascensores a lo largo de Valparaíso; es más, también existe una fuerte brecha entre las cantidades de viajeros que realizan subidas versus los que bajan. Esto nos permite esclarecer que cada plan de mantenimiento es específico y personalizado para cada condición única de trabajo. El contexto operacional es la característica a identificar que condicionará el tipo de mantenimiento que será seleccionada para su futura aplicación.

OBJETIVOS

- Objetivo General

Proponer un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad mediante metodología AMEF dirigida al ascensor funicular El Peral para minimizar los periodos de detención del servicio que este brinda a la comunidad.

- Objetivos Específicos

- 1.- Describir el ascensor funicular El Peral para evidenciar el escenario del proyecto a aplicar.
- 2.- Analizar los componentes de gran criticidad que conforman el ascensor funicular El Peral, confeccionando un plan de mantenimiento dirigido a ellos.
- 3.- Evaluar el impacto económico que significa la aplicación de la propuesta de mantenimiento al ascensor funicular El Peral.

CAPÍTULO 1: DESCRIPCIÓN

1.1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE LOS ASCENSORES FUNICULARES EN VALPARAÍSO

Los registros históricos de los ascensores funiculares de Valparaíso están ligados al desarrollo industrial de la ciudad, promovido por su condición de puerto de detención obligatorio para todos los navíos que comerciaban con la costa occidental del continente americano. El movimiento de cargas durante el año 1.874 en el Puerto de Valparaíso ya era de 1.936.265 toneladas. En 2015 esa cifra ascendió a 8,7 millones de toneladas.

El surgimiento de nuevas tecnologías, la necesidad de alcanzar los nuevos límites de la ciudad en crecimiento, que hacia 1885 tenía una población de 106.808 habitantes, y el impulso de los hombres de negocios de la época, promovieron la implementación de diversos avances en la ciudad, pioneros en el país: el primer banco del país, la primera compañía de seguros, la primera compañía de bomberos con el nombre de Asociación de Incendios, el primer teléfono y el primer sistema de la iluminación pública son emblema del impulso que la ciudad quería alcanzar.

El transporte de pasajeros no quería quedar exento de ese impulso y es así como el 17 de diciembre de 1877, el Consejo Municipal de la ciudad da el visto bueno para el primer proyecto de construcción de un ascensor en la ciudad, impulsado por don Isidoro Peiroulx, pero que no prosperó. El 13 de diciembre de 1882, don Liborio Briebe Pacheco funda la Compañía de Ascensores Mecánicos de Valparaíso, aún vigente, que será la que construirá el primer ascensor de la ciudad: el “Ascensor Mecánico del Cerro de la Concepción”, el cual abrió sus puertas el 1 de diciembre de 1883.

1.2. HISTORIA DEL ASCENSOR FUNICULAR EL PERAL

Su inauguración data del 7 de diciembre de 1901, siendo sus iniciadores y ejecutores principales los Señores Fernando Edwards y Juan Segundo Naylor. Su primer propietario fue la Sociedad Ascensor Cerro Alegre.

Constituye junto con los ascensores Concepción y Reina Victoria los que comunican el *plan* de Valparaíso con los cerros Alegre y Concepción (zonas típicas), prestando, a principios de siglo, servicios a las colonias extranjeras asentadas en esos cerros, y en la actualidad, al sector, que se considera un centro educacional - turístico en formación.

Fue el primer funicular que contó con motor a vapor.

El diario "El Mercurio de Valparaíso" en su edición del día 8 de diciembre de 1901, informaba que a las 16 horas del día anterior se llevó a cabo la inauguración, "en medio del mayor entusiasmo, principalmente de parte de las personas que serán beneficiadas con la nueva construcción". Fue declarado Monumento Nacional de Chile, en la categoría de Monumento Histórico, mediante el Decreto Exento N° 866, del 1 de septiembre de 1998. Actualmente es propiedad de la Ilustre Municipalidad de Valparaíso.



Figura 1.1: Antigua Postal del Ascensor Funicular el Peral desde Plaza Sotomayor
Fuente: www.chilecollector.com

1.3. MAPA DE UBICACIÓN DE ASCENSOR FUNICULAR EL PERAL

La ubicación específica del funicular está establecida por las siguientes coordenadas geográficas expresadas en el sistema sexagesimal:

- Latitud : 33° 2' 22377" S
- Longitud : 71° 37' 45976" W



Figura 1.2: Ubicación de ascensor Funicular El Peral en Mapa de Valparaíso
Fuente: www.maps.google.cl

1.4. DESCRIPCIÓN DEL ASCENSOR FUNICULAR

La estación inferior se encuentra en la plaza de Justicia, frente a la plaza Sotomayor, y la superior, en el paseo Yugoslavo del cerro Alegre, donde se ubica el Palacio Baburizza, sede del Museo Municipal de Bellas Artes de Valparaíso; el ascensor da a la fachada por la que se entra a este. El largo total de la trama vertical es de 55 metros y llega a una cota de 40 metros, con una pendiente de 45,2 grados y un desnivel de 39 metros.⁴ Se ubica entre los 10 y los 40 metros sobre el nivel del mar, con un largo de rieles de 52 metros y un trayecto de 45 segundos. Comunica la Plaza Justicia con el Paseo Yugoslavo ubicado en Cerro Alegre.

- Estación inferior : Plaza de Justicia.
- Estación superior : Paseo Yugoslavo.
- Recorrido : 59,61 metros.

Pendiente : 43 grados.

Tiempo de recorrido : 60 segundos.

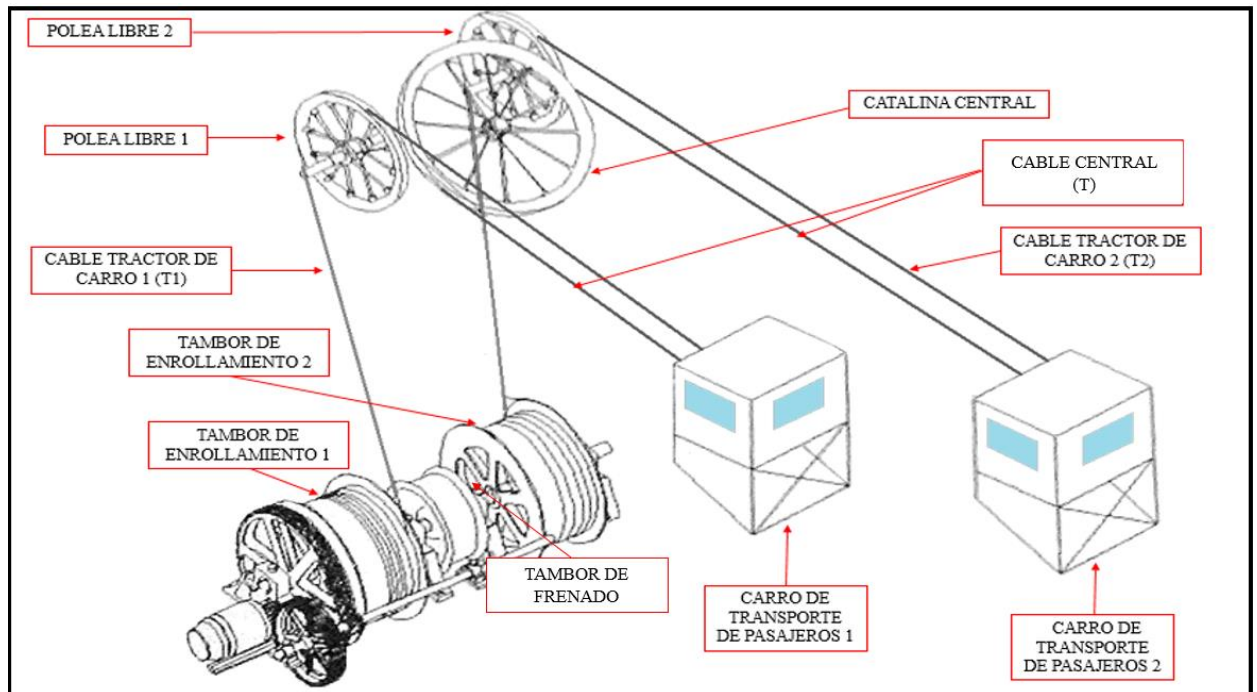


Figura 1.3: Nomenclatura del Conjunto de Transmisión Mecánica
Fuente: Elaboración Propia

1.5. SITUACIÓN ACTUAL

El mejoramiento integral del ascensor El Peral, desarrollado por la Dirección de Obras Municipales de la Ilustre Municipalidad de Valparaíso, se inició el 1 de junio de 2015 y sus servicios fueron restablecidos el viernes 09 de septiembre de 2016. Dentro de este proceso de mantenimiento, se ejecutó la implementación de un sistema Controlador Lógico Programable, más conocidos como PLC, el cual permitirá automatizar los procesos electromecánicos ligados a su operación. Esta consumación genera un aporte, pero a su vez un desplazamiento en las funciones del maquinista, elemento intrínseco no solo en la manipulación y control del tradicional transporte, sino que además participa de manera directa como tamiz evaluador de la correcta o incorrecta operación del sistema, siendo un aporte significativo al momento de la detección de falencias en la operación. No obstante, la falta de capacitación impartida y el escaso número de personal competente para la operación específica de cada funicular, realizando la distinción que entre los mismos operadores nombran como *máquina lenta* o *máquina rápida*, reducen el espectro de personal idóneo, por lo que la tecnología PLC y su aplicación a la totalidad de los funiculares resulta ser un hecho inminente.

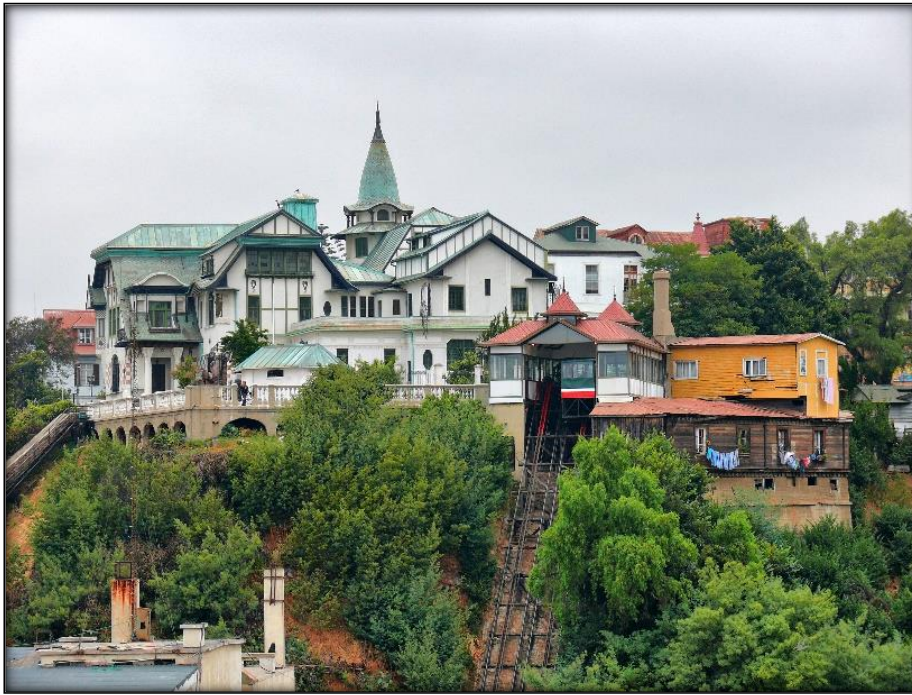


Figura 1.4: Vista de estación superior del actual ascensor funicular El Peral y Palacio Baburizza
Fuente: es.wikipedia.org

1.6. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Durante las últimas décadas, la cantidad de ascensores funiculares operativos en la ciudad de Valparaíso se ha reducido a la menor en su historia: Actualmente solo operan cinco tutelados por el municipio (Ascensor Polanco, Reina Victoria, El Peral, Barón y San Agustín) y uno perteneciente al GORE V Región: el Ascensor Artillería.

La causalidad no es ajena a este fatídico resultado: Los egresos sujetos a la operación del sistema, tales como el mantenimiento de la maquinaria y de la infraestructura, honorarios de sus empleados, y gastos de cuentas básicas.

Hacia fines del siglo XIX, estos eran los únicos medios de transporte en la ciudad, sin embargo con el correr de los años, nuevas opciones surgieron, generando así una competencia de servicios entre los transportes masivos y el viejo medio de transporte funiculares.

Son vastas las problemáticas que circundan a estas antiguas e implacables maquinas. Sin embargo, el análisis se direcciona a la siguiente problemática:

- **Fallas de Operaciones**

El hecho de que inicialmente se tratase de una maquinaria y una infraestructura de más de 100 años, mermaba la posibilidad de atender con la frecuencia esperada al

público: Fallas técnicas, deterioro de las vías y de los recintos físicos, etcétera, son todos hechos resultantes de la falta de inversión en este ítem, debido a la imposibilidad, por parte de los dueños, de generar los recursos para su solución. Este punto es, en cierto modo, el génesis principal del proyecto municipal de restauración y renovación del ascensor funicular El Peral.

▪ **Corrosión**

Por medio del análisis del mapa de corrosión atmosférica de Chile, se sustenta la agresividad que significa la exposición directa del equipo a la intemperie. El clima de tipo templado mediterráneo con variaciones que presenta la V región de Valparaíso más la ubicación física costera (contaminación de cloruro por aerosol marino) son dos condiciones adversas que afectan de manera positiva a su deterioro.

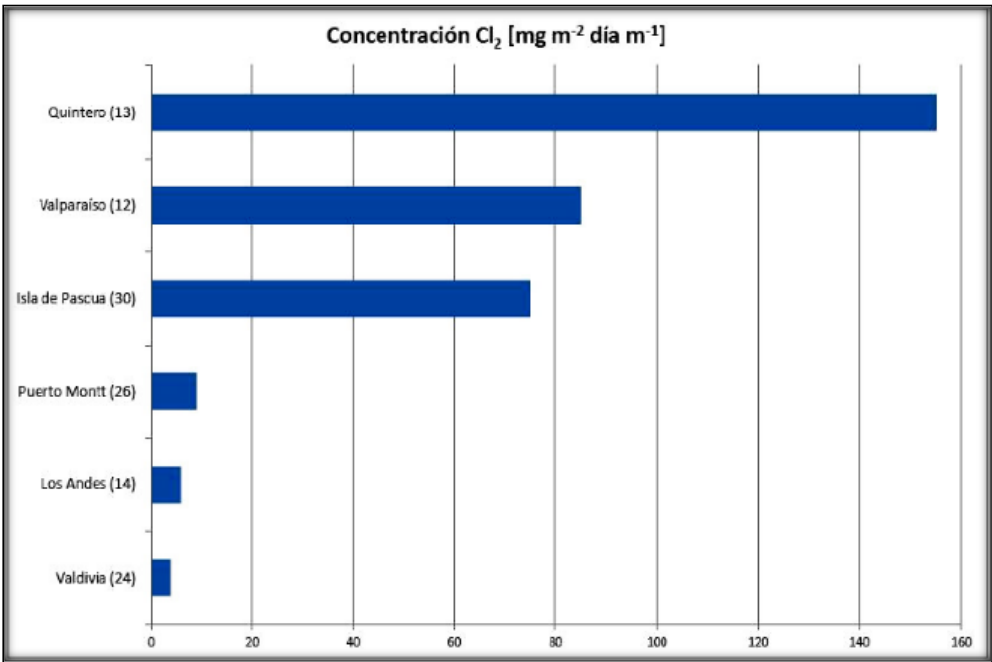
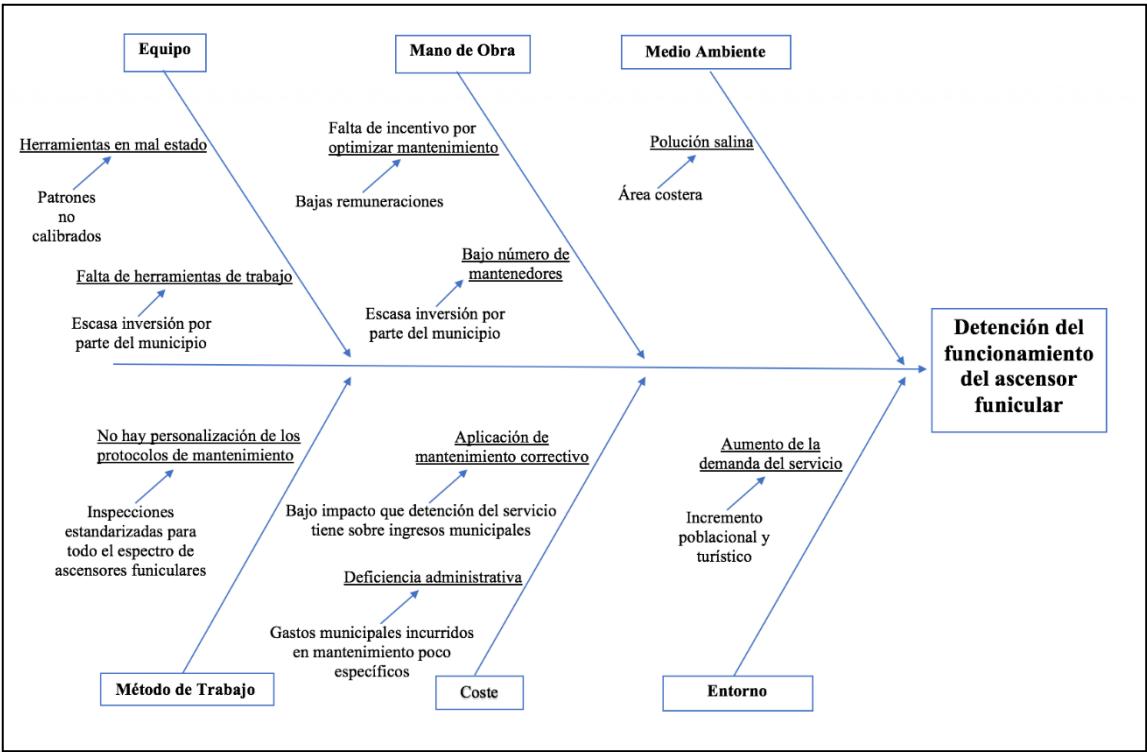


Figura 1.5: Concentración de Cl⁻ en zonas de Ensayos
Fuente: www.rlmm.org

1.6.1. Diagrama de Ishikawa

Pese a las implicancias positivas que conlleva la renovación total de los sistemas que conforman a El Peral, no se puede garantizar una permanencia del alto grado de optimización obtenido de esto al menos que se realice un análisis de las causas tanto específicas como tangenciales que podrían estar sustentando la problemática en consecuencia, vale decir la detención intermitente y, muchas veces prolongada de los servicios que el ascensor funicular ofrece como transporte. Es debido a esto que el Diagrama de Kaoru Ishikawa o también conocido como Diagrama de Causa-Efecto permite una forma de organizar y representar las diferentes teorías propuestas sobre las causas de un problema determinado, pudiendo ser estas extraídas de factores medio ambientales, administrativos, humanos, metodológicos, o cualquier factor que intervenga en el desarrollo de un proceso en particular. Al diagrama se le conoce también como de *Espina de Pescado* - por su similitud en forma - donde en la *cabeza* de este se establece el problema, síntoma o efecto a analizar. Las diferentes categorías en que podemos agrupar las causas del problema, conforman las *espinas* que se desprenden de la horizontal principal, escribiendo el nombre de cada categoría establecida en el extremo de las líneas emergentes de la horizontal, y proyectando desde una determinada causa su subcausa correspondiente:



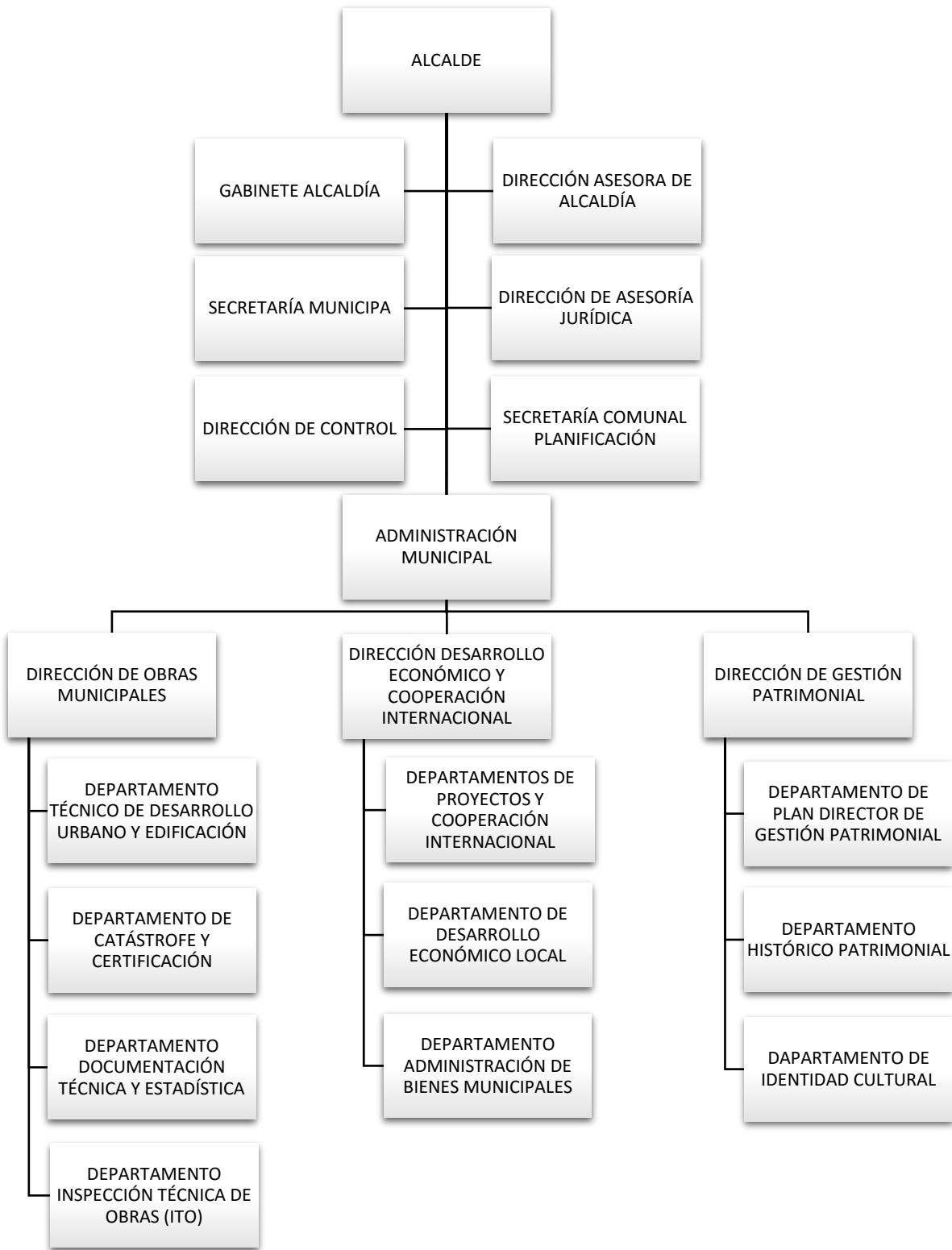
1.7. MARCO TEÓRICO

El presente trabajo analiza cómo proceso inicial el diseño del ascensor funicular El Peral y, mediante el análisis de sus componentes y sus respectivas condiciones de operación, establecer un plan de mantenimiento que se adapte de manera óptima a este. Para ello, es que se requiere de un tipo de mantenimiento que esté orientado específicamente hacia la sistematización y el ordenamiento de los elementos que constituyen la administración del mantenimiento industrial. Este es el Mantenimiento Centrado en la confiabilidad, también conocido como MCC o RMC. Se puede definir este tipo de mantenimiento como la capacidad de un ISED (instalaciones, sistemas, equipos y dispositivos), de realizar su función de la manera prevista, considerando la confiabilidad como la probabilidad en que un producto realizará su función prevista sin incidentes por un período de tiempo especificado y bajo condiciones indicadas.

Este mantenimiento tiene como ventaja, que la misma promueve el uso de las nuevas tecnologías para el campo de mantenimiento. La aplicación de nuevas técnicas bajo el enfoque del RMC optimiza de forma eficiente los procesos de producción y disminuye al máximo los posibles riesgos al personal. El proceso permite determinar cuáles son las tareas de mantenimiento adecuadas para cualquier activo físico. EL RCM trabaja el mantenimiento a nivel de modos de fallos y consecuencias, considerando un *modo de falla* como la causal de una falla o una posible manera en la que un sistema puede fallar. Cuando un sistema tiene muchas maneras posibles de fallar, tiene múltiples modos de falla o riesgos que compiten.

1.8. ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL

1.8.1. Organigrama municipal



1.8.2. Propósito de los departamentos

En cuanto al decreto N° 1495 de la Ilustre Municipal de Valparaíso, de fecha 1 de junio del 2015, a través de los Decretos Alcaldicios N°s 780, 781, 782 y 783 de 26 de abril de 2007, y N° 1394 de 22 de de [sic] 2015, se han establecido las pertinentes modificaciones al Decreto Alcaldicio N° 1214 de 14 de octubre del 2005, referente al Reglamento de Organización Interna. Este documento establece las obligaciones a cumplir por cada uno de los departamentos que conforman al municipio. A continuación se considerarán solo las directivas, cuyas funciones van direccionadas hacia el proyecto en cuestión (ascensor funicular).

Título II. DE LA ESTRUCTURA, Art. 4°, especifica que la estructura orgánica de la Municipalidad de Valparaíso se conformará con el Gabinete y las siguientes direcciones, las que dependen directamente del Alcalde:

a. NIVEL DE OPERACIÓN Y DESARROLLO. Dirección de Obras Municipales.
Departamento de Inspección Técnica de Obras (ITO)

Las funciones generales del Departamento son:

- a.1. Fiscalizar el estado de las obras existentes en la comuna, informando todo caso que requiera su demolición y orden de reparación.
- a.2. Inspeccionar e informar sobre los reclamos de particulares.
- a.3. Inspeccionar y recibir las obras que ejecuta el Municipio, sea directamente o por medio de contratista.
- a.4. Inspeccionar obras que se ejecutan en espacios públicos y dar los permisos respectivos.

b. NIVEL DE OPERACIÓN Y DESARROLLO. Dirección de Desarrollo Económico y Cooperación Internacional. Departamento Administración de Bienes Municipales.

Las funciones generales del Departamento son:

- b.1. Administrar y fiscalizar los ascensores municipales aquellos que estén traspasados al municipio a cualquier título.
- b.2. Administrar la losa del Terminal Rodoviario y velar por el adecuado cumplimiento de las condiciones de concesión o arriendos firmados con terceros.
- b.3. Administrar adecuadamente mercados, pérgolas y cuando corresponda fiscalizar el correcto cumplimiento de las condiciones entregadas.
- b.4. Velar por el correcto cumplimiento de las condiciones establecidas en las concesiones de espacios públicos sujetos a administración municipal que sean entregadas a particulares en las cuales aparezca como unidad técnica encargada.

b.5. Mantener registro de los bienes inmuebles que son arrendados por la Municipalidad.

c. NIVEL DE OPERACIÓN Y DESARROLLO. Dirección de Gestión Patrimonial. Departamento Plan Director de Gestión Patrimonial.

Las funciones generales del Departamento son:

- c.1. Coordinar todos los proyectos e iniciativas destinadas a la recuperación y desarrollo sostenible del patrimonio material e inmaterial de la ciudad.
- c.2. Conformación de la Mesa Técnica Urbana e coordinación con otros departamentos del Municipio, Consejo de Monumentos Nacionales y Seremi MINVU V Región.
- c.3. Proponer planes de acción multisectorial y Fuentes de Financiamiento para la obtención de recursos para la puesta en marcha de la recuperación del Sitio declarado Patrimonio de la Humanidad, en coordinación con CORFO y Ministerio de la Vivienda referidos a la Zona Típica.

1.9. PROGRAMA DE INSPECCIÓN

El Departamento de Inspección Técnica de Obras (ITO) a través de la Oficina de Inspectores de Terreno y la Oficina de Inspección Técnica de Obras han elaborado un Programa de Inspección de carácter estandarizado, englobando un completo espectro de trascendentes tareas aplicables a varios ascensores funiculares, permitiendo la evaluación de estos mediante una Ficha de inspección que promueve la realización de acciones de inspección y mantenimiento. Además, adjunto a esta guía de tareas mencionada *a priori*, se encuentra una Lista de Chequeo que considera el seccionamiento de los distintos sectores que conforman a El Peral; lista que se debe proceder a seguir como primera actividad previa a la puesta en marcha de la maquinaria. ¿La razón?, evidenciar cualquier anomalía existente y dejar un registro mensual (considerando 31 días de análisis). Ambos documentos contribuyen a la prevención de accidentes, incidentes y malas praxis que pudiesen conllevar al mal estado del equipo, además de permitir llevar un registro del comportamiento del mismo.

1.9.1. Ficha de Inspección (ANEXO A)

1.9.2. Lista de chequeo

ASCENSOR

PROPIETARIO

AÑO

MES

FICHA DE CONTROL N°

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
ESTACION INFERIOR																															
Limpieza																															
Iluminación																															
Tornos																															
Extintores																															
Puertas																															
Baños																															
ESTACION SUPERIOR																															
Limpieza																															
Iluminación																															
Tornos																															
Extintores																															
Puertas																															
Baños																															
ESTACION INTERMEDIA																															
Limpieza																															
Iluminación																															
Extintores																															
Puertas																															
Baños																															
CABLES																															
Principal																															
Auxiliar																															
SALA DE COMANDO																															
Limpieza																															
Tableros																															
Instrumentos																															
Iluminación																															
Timbres																															
Luces de señales																															
SALA DE MAQUINAS																															
Limpieza																															
Tableros																															

Gráfico 1.1: Lista de Chequeo de ascensores funiculares de Valparaíso.
Fuente: Ilustre Municipalidad de Valparaíso

CAPÍTULO 2: ANÁLISIS DEL PLAN DE MANTENIMIENTO

2.1.OPERACIÓN DEL SISTEMA FUNICULAR

La estación superior del ascensor funicular El Peral está conformada por una planta alta y una baja. En la primera se encuentra la sala de control del maquinista y en la planta baja la sala de máquinas. La puesta en marcha y la detención de los carros de transporte de pasajeros son controladas por un VFD el cual mediante la variación de la frecuencia de alimentación eléctrica, controla la velocidad de rotación del motor de corriente alterna en donde comienza el proceso de transmisión. Este motor electromecánico ubicado en la planta baja, transforma la energía eléctrica de alimentación en energía mecánica, transfiriéndola mediante su eje de fábrica al piñón 1. La transferencia de energía cinética desde este piñón hacia la corona 1, ambos acoplados entre sí, es esencial para la transmisión de la misma al eje secundario. El diferencial de diámetros y dientes entre piñón y corona genera una reducción de la velocidad angular y un aumento del torque necesario para suplir las pérdidas de potencia que se generan:

- Al mover los dos carros de transporte de pasajeros, donde la magnitud de la tracción del cable de arrastre debe vencer al vector $Mg\text{Sen } 43^\circ$ que se contrapone.
- En los bujes del Eje de Planta Alta y de las ruedas de los carros.
- Durante la carrera de las ruedas en el plano de rodadura
- En los cables de tracción al desplazarse por las poleas libres.
- Durante el pandeo de los cables de tracción.

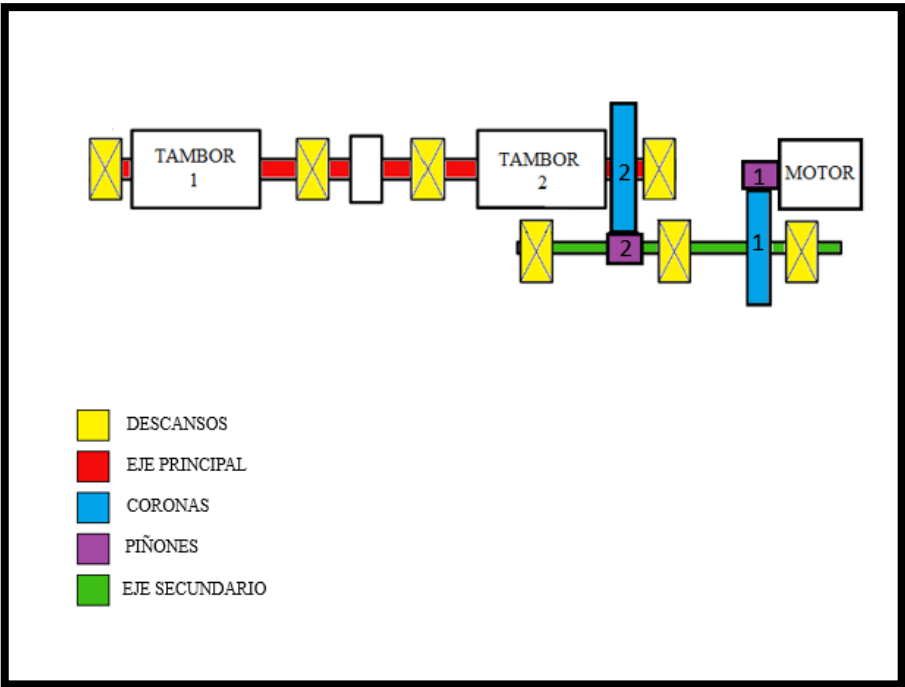


Figura 2.1: Gráfica de Planta Baja de Estación Superior

Fuente: Elaboración Propia

La corona 1 y el piñón 2 se encuentran montados en el eje secundario y la conexión entre el piñón 2 y la corona 2 realiza la última amplificación del torque, resultando en el aumento del momento torsor del eje principal. En este eje yacen el tambor de enrollamiento 1 y 2, cuya función es guiar a ambos cables de tracción a través de su superficie acanalada que cuenta con una inclinación de $0,3^\circ$ respecto a un eje perpendicular a la rotación de los tambores. Este ángulo garantiza el correcto enrollamiento del cable, evitando el contacto consigo mismo.

Existen dos cables de tracción: *T1* y *T2*. Ambos cables ascienden desde la planta baja a la planta alta hasta un par de poleas libres, una para cada cable tractor. Los cables de tracción, confeccionados de acero Carbono, nacen desde ambos tambores de enrollamiento (tambores de enrollamiento 1 y 2) y su función es generar el izamiento y controlar el descenso de los carros de transporte de pasajeros. El cable de tracción *T1* laboreea el perímetro de su respectivo tambor en sentido antihorario y el cable de tracción *T2*, en sentido horario. De esta manera se logra conseguir el descenso de un carro y el ascenso de otro al unísono a través de sus rieles guías en el plano inclinado del Cerro Alegre.

Adicional al *T1* y *T2*, existe un cable de acero Carbono denominado *T* que pivotea en una catalina central. Los extremos de este cable están unidos a ambos carros logrando mantener el equilibrio entre ellos, mitigando así el esfuerzo requerido por el motor para producir el movimiento de estos.

Posee dos sistemas de frenado: uno normal o de servicio y el otro auxiliar o de emergencia. El primero incorpora el uso de un motor electrohidráulico para generar el contacto de las zapatas con el tambor de frenado, mientras que la operación del segundo es absolutamente mecánica, precisamente para atender la condición de emergencia en la cual no hubiese energía eléctrica para accionar el sistema de frenado normal. Considerando las condiciones de emergencia es que cada carro de transporte cuenta con un mecanismo articulado denominado “Pico de Loro” que se asegura al riel auxiliar que yace en las proximidades de cada riel guía de conducción del carro cuando algún cable de tracción se corte. Si el descenso incontrolado del carro lo llevase de manera abrupta a la estación inferior, por última instancia se encuentra un conjunto de amortiguadores inclinados que absorberán el impacto disipando la energía de $Mgsen 43^\circ$ mediante los resortes que contiene en su interior.

El sistema dinámico del carro de transporte está conformado por los siguientes elementos:

- Dos resortes concéntricos.
- Dos ejes.
- Ruedas.
- Bujes de bronce.
- Cubos o dados de lubricación.

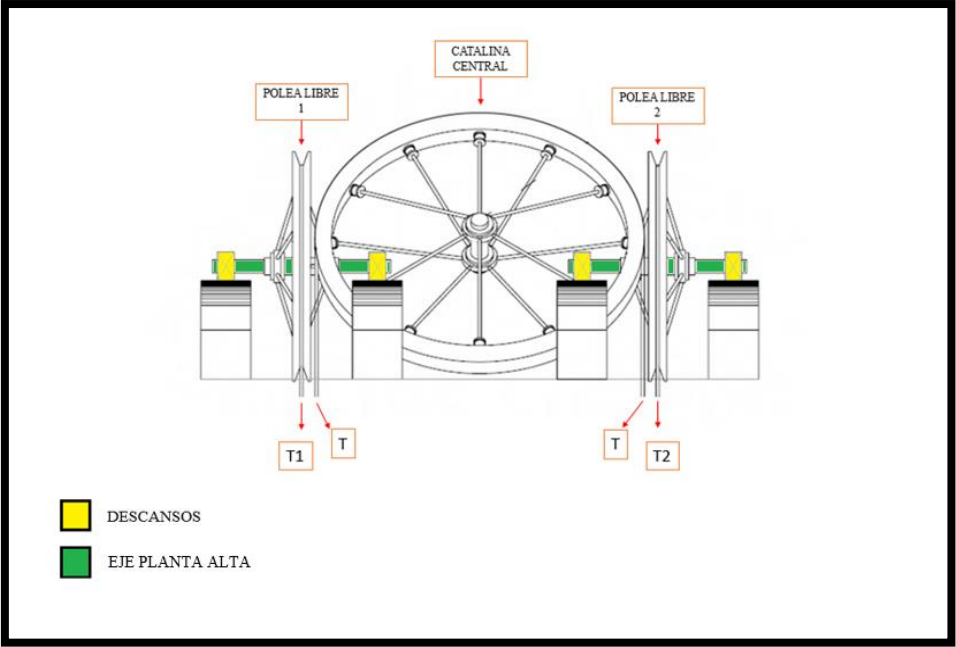


Figura 2.2: Gráfica de Planta Alta de Estación Superior

Fuente: Elaboración Propia

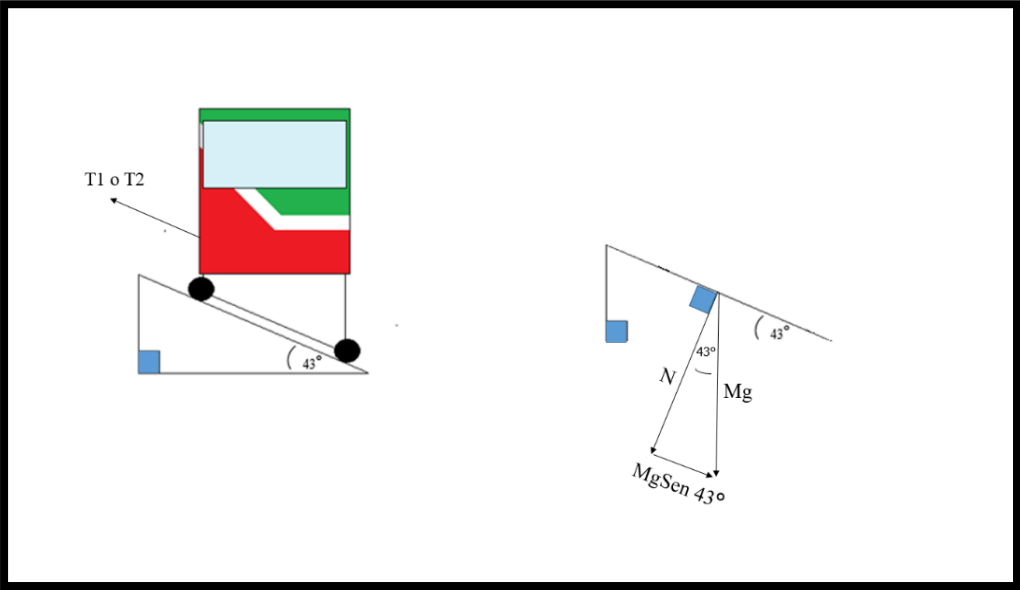


Figura 2.3: Diagrama de Fuerza Carros de Transporte de Pasajeros

Fuente: Elaboración Propia

2.2. ANÁLISIS DE CRITICIDAD

Es una metodología que permite establecer jerarquías entre los diferentes ISED que conforman la totalidad del sistema en análisis. Para llevar a cabo este estudio se considera:

- la frecuencia de fallas
- la severidad de su ocurrencia
- daños al personal
- impacto ambiental
- pérdida de producción
- daños en la instalación

No obstante, la remodelación de instalaciones y equipos como consecuencia del proyecto *Mejoramiento Integral Ascensor El Peral de Valparaíso*, la inexistencia de fichas de información o historiales de ISED previos al proyecto por parte del Departamento de Inspección Técnica de Obras del municipio, y el escaso índice de fallas de los nuevos ISED desde septiembre del 2016 a la fecha imposibilita generar una comprensión global, tanto del comportamiento de los equipos predecesores a los actuales como de los que brindan el servicio del ascensor en el presente, mermando así la capacidad de concluir una confiabilidad operacional.

Se ha considerado el potencial de criticidad de los ISED que conforman el sistema general del funicular basado en los siguientes criterios:

- Consecuencias de seguridad: ISED que ponga en riesgo la seguridad de los empleados, empleadores y de quien utiliza el servicio que se ofrece.
- Consecuencias de medio ambiente: ISED que pueda generar un impacto de carácter adverso sobre el medio ambiente.
- Consecuencias operacionales: Aquel ISED que en el ejercicio de su operación anómala genere un incremento de los costos o reduzca el beneficio económico de la municipalidad.

2.3.ELEMENTOS CRÍTICOS

Los elementos críticos son aquellos que debido a su bajo nivel de confiabilidad operacional, afectan directamente la operatividad del servicio en cuestión. Dentro de la nomenclatura de los componentes que conforman al ascensor, los componentes de alta criticidad son los siguientes:

- 1) Oil Buffer
- 2) Carro de Transporte de Pasajeros
- 3) Cables
- 4) Sistema de Protección Antivuelco
- 5) Sistema de Emergencia Antideriva
- 6) Ruedas de Chasis de Carro
- 7) Micro Interruptor de Final de Carrera
- 8) Motor Eléctrico
- 9) Motor de Frenado
- 10) Rodamientos de Descansos
- 11) Freno de Emergencia

1. Oil Buffer

Este mecanismo está destinado a servir de tope comprimible al final de recorrido, amortiguando la cabina transportadora de pasajeros frente al descenso abrupto o incontrolado de esta en dirección a la estación inferior, protegiendo las condiciones de los pasajeros y del material. Se encuentran empotrados en un mamparo de concreto en la estación inferior y está constituido por un sistema de frenado combinado: por fluido y por resorte.

1.1.Tipo	:	B-60
1.2.Carga máxima	:	2600 kp
1.3.Carga mínima	:	800 kp
1.4.Velocidad	:	60 mpm
1.5.Carrera de compresión	:	75 mm
1.6.Aceite en uso	:	R 32
1.7.Volumen de aceite	:	0.4 L



Figura 2.4: Cuatro amortiguadores montados en estación inferior de funicular El Peral
Fuente: Elaboración Propia

2. Carro de Transporte de Pasajeros

- 2.1.Cantidad de Carros : 2 unidades
- 2.2.Masa sin pasajeros a bordo : 2200 kg
- 2.3. Velocidad Nominal : 3,8 km/h
- 2.4.Masa con capacidad máxima : 3350 kg (950 kg por pasajeros y 200 kg por cargas extras de los pasajeros)
- 2.5.Capacidad de pasajeros : 8 pasajeros en el carro ascendente y 10 en el descendente (durante periodo de pruebas, 8 pasajeros por carro será la capacidad admisible), 5 pasajeros más pasajero en silla de ruedas.



Figura 2.5: Carro de Transporte de Pasajeros 2 desde la estación superior
Fuente: Elaboración Propia

3. Cables

Unido a cada carro de transporte de pasajeros es que se encuentran los cables de tracción del carro 1 y 2 y el cable de tracción central. El cable de tracción del carro 1 (carro derecho visto desde estación superior hacia la inferior) denominado *T1* y el cable de tracción del carro 2 (*T2*), tienen la función de transferir la energía mecánica generada por el motor eléctrico hacia cada carro de transporte, con el fin de tractarlos y lograr el desplazamiento de estos a cualesquiera de las dos estaciones. El cable central también llamado de emergencia o de contrapeso (*T*), funciona como sistema de emergencia. Este balancea ambos carros de transporte permitiendo que, en caso de que el *T1* y /o el *T2* se corten, los carros 1 y 2 queden sujetos al mismo, evitando el descenso.

3.1.Marca	:	PRODINSA S.A.
3.2.Tipo	:	Cobra
3.3.Diámetro	:	22 mm
3.4.Datos Técnicos	:	6 x 19s AF
3.5.Carga de Rotura Mínima	:	330 kN
3.6.Peso Lineal	:	1,8 kg/m
3.7.Norma de Especificación	:	ISO 2232

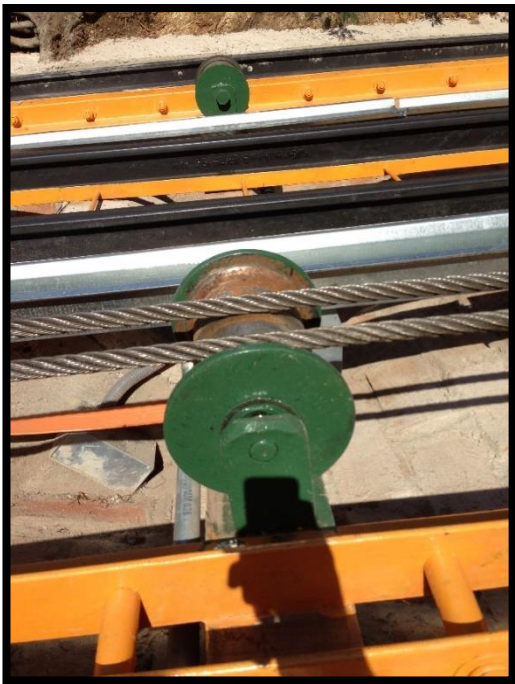


Figura 2.6: Cable “T” y Cable “T1” sobre Rolete Guía
Fuente: Elaboración Propia

4. Sistema de Protección Antivuelco

Este sistema mecánico está ubicado en el inferior de cada carro y consta de dos guías de acero fundido que recorren longitudinalmente los dos rieles guías de conducción (80AS) durante las carreras de ascenso y descenso. En caso de vuelco en lateralidad, las aletas superiores del seguro ejercen contacto en la cabeza u hongo del riel, impidiendo la desconexión de ambos componentes y evitando que el carro se salga de su eje de movimiento y de sus rieles guías.



Figura 2.7: Riel Guía de Conducción
Fuente: Elaboración Propia



Figura 2.8: Sistema de Protección Antivuelco de Carro 1
Fuente: Elaboración Propia

5. Sistema de Emergencia Antideriva

Este es sistema de seguridad ubicado en el chasis o bastidor que soporta al carro de transporte, atiende a la eventualidad de que el cable $T1$ o $T2$ se corte. Al momento de que esto suceda, se libera un muelle que empuja unas barras las cuales logran que el gancho “pico de loro” trabe el carro de transporte a una cremallera situada en el plano de rodadura de este.

Las piezas que los conforman son:

- Perfil de fijación de acople a cable de tracción.
- Pieza de unión de carro a acople tensor.
- Barra de transmisión de tensión.
- Fijador del resorte.
- Gancho de seguridad “pico de loro”.

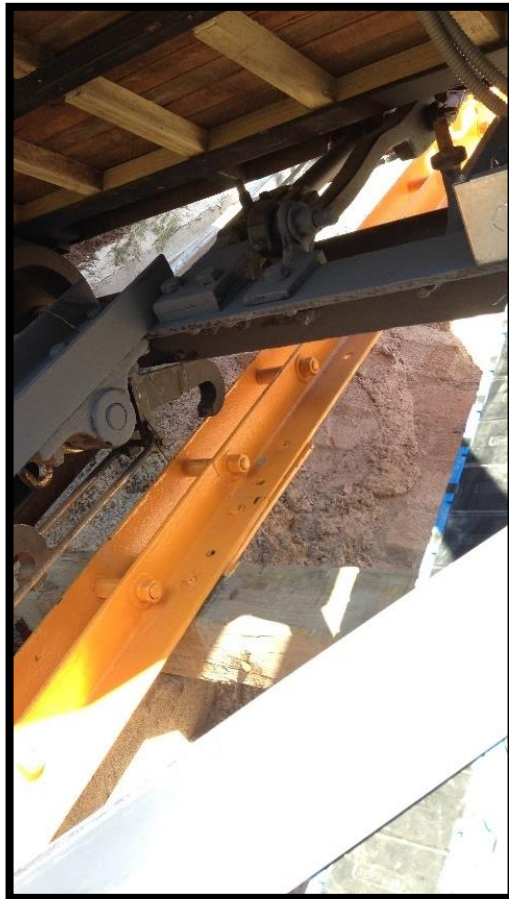


Figura 2.9: Sistema de Emergencia de Chasis del Carro de Transporte de Pasajeros
Fuente: Elaboración Propia

6. Ruedas de Chasis de Carro

Este sistema está provisto de bujes de bronce, un vaso o cubo de lubricación y un sistema de amortiguación mediante dos muelles concéntricos.

Las características de las ruedas son las siguientes:

6.1.Material de Fabricación	:	Acero de fundición SAEJ431 G300 perlítico
6.2.Cantidad por Carro	:	4 unidades
6.3.Carga Asignada por Rueda	:	837,5 kg



Figura 2.10: Rueda de acero de fundición
Fuente: Elaboración Propia

7. Micro Interruptor de Final de Carrera

También llamado “Sensor de Contacto” o “Interruptor de Límite”, el funicular compromete el uso de seis de ellos en su estación superior, tres destinado para cada uno de los carros de transporte de pasajeros. Estos dispositivos electromecánicos se someten a contacto con la estructura de soporte del carro de transporte durante su ascenso, generando una señal determinada que modifique las condiciones del circuito. En orden

ascendente, cada uno de ellos está destinado para las siguientes modificaciones:

- Contacto Número 1 : Desacelera el carro de transporte.
- Contacto Número 2 : Detiene el carro de transporte.
- Contacto Número 3 : Desenergiza al motor (Sistema de Seguridad).

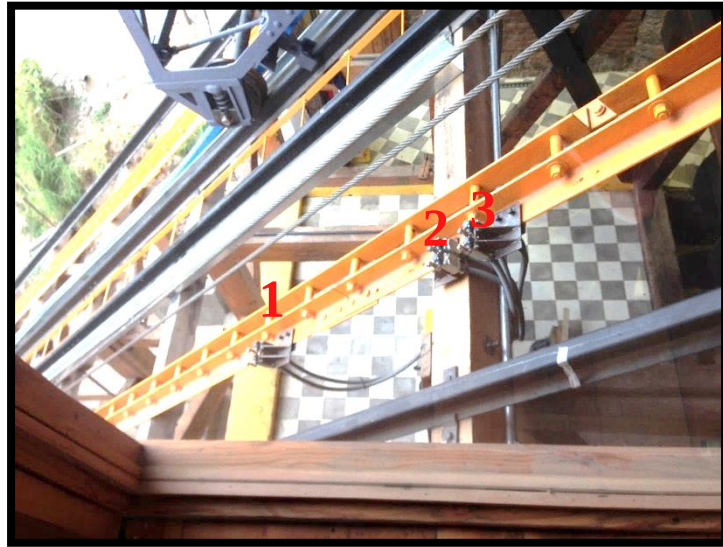


Figura 2.11: Sensores de Contacto del Carro 2
Fuente: Elaboración Propia



Figura 2.12: Sensor de Contacto de Desaceleración activado
Fuente: Elaboración Propia

8. Motor Eléctrico

8.1.Marca	:	WEG CHILE S.A.
8.2.Modelo	:	W22
8.3.Material de Fabricación	:	Hierro Gris de Alta Tensión
8.4.Frecuencia	:	50 Hz
8.5.Tensión	:	380/660 V
8.6.Potencia	:	30 kW



Figura 2.13: Motor Eléctrico en Estación Superior
Fuente: Elaboración Propia

9. Motor de Frenado

Este dispositivo conocido con el nombre de *Turbel Thrustor* es parte del sistema de frenado normal o de servicio. Su modo de operación es electro-hidráulica, el cual acciona las bandas de freno, generando el contacto de las zapatas con el tambor que se halla en la zona medial entre ambos tambores de enrollamiento. Su propósito es proporcionar el empuje lineal para generar la compresión del tambor medial (tambor de frenado) a través del conjunto de zapatas, reduciendo así la energía cinética de ambos tambores de enrollamiento al unísono.

- 9.1.Marca
- :
- ANTEC, Inc.
- 9.2. Fuerza
- :
- 500 N
- 9.3.Tensión
- :
- 230/400 V
- 9.4.Corriente Eléctrica
- :
- 1,17/0,67 A



Figura 2.14: Sistema de Freno de Servicio
Fuente: Elaboración Propia



Figura 2.15: Motor de Frenado junto a tambor medial
Fuente: Elaboración Propia

10. Rodamientos de Descansos

Tanto la Planta Alta como la Baja de la Estación Superior alojan sus ejes de transmisión en determinado tipos de descansos según sus condiciones y modos de operación. La ubicación de los tres tipos de descansos que participan y su respectiva categoría se identifican de la siguiente manera:

1. Descansos Eje Planta Alta

- 1.1. Tipo : No comercial (acero fundido)
- 1.2. Rodamiento Admisible : No posee rodamientos (bujes de bronce)
- 1.3. Cantidad : 4 unidades

2. Descansos Eje Principal

- 2.1. Tipo : SNK 528
- 2.2. Rodamiento Admisible : 1217K; 22217EK; 2217K
- 2.3. Cantidades : 4 unidades

3. Descansos Eje Secundario

- 3.1. Tipo : SNG 517
- 3.2. Rodamiento Admisible : 22228K; 23228K
- 3.3. Cantidad : 3 unidades



Figura 2.16: Descanso Planta Alta
Fuente: Elaboración Propia



Figura 2.17: Descanso Tipo SNK528
Fuente: Elaboración Propia



Figura 2.18: Descanso Tipo SNG517
Fuente: Elaboración Propia

11. Freno de Emergencia

Consiste en un sistema de frenos por tres balatas de madera que rodean al perímetro superior del tambor de enrollamiento 2. Se acciona mecánicamente a través de una leva ubicada en la planta alta de la estación superior (sala del maquinista), la cual al ser izada, se transfiere la energía cinética a un contrapeso pivotado ubicado en la planta baja, el cual mediante torque amplifica la fuerza ejercida. Consecuente a esto, las balatas ejercen el contacto sobre el tambor 2.

Debido a que tanto el tambor de enrollamiento 1 como el 2 comparten el mismo eje de transmisión (eje principal), el mecanismo de frenado de emergencia se efectúa en ambos.



Figura 2.19: Vista del Sistema de frenado de Emergencia
Fuente: Elaboración Propia



Figura 2.20: Balata de madera central
Fuente: Elaboración Propia

2.4. PLAN DE MANTENIMIENTO

2.4.1. Descripción Método AMEF

La norma SAE JA1011 que norma el Criterio de Evaluación para los Procesos de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance Processes) especifica los requerimientos que debe cumplir un proceso para poder ser denominado como RCM. El mantenimiento centrado en Confiabilidad consigue determinar cuáles son las tareas de mantenimiento adecuadas para cualquier activo físico.

Uno de los métodos que permite garantizar la confiabilidad e identificar los modos de falla que potencialmente pudiesen ocurrir en un determinado ISED es el denominado Análisis de Modos y Efectos de Falla. El AMEF también permite establecer las acciones para la mitigación de los riesgos y sus efectos. Cabe destacar que junto con el reconocimiento de la falla y la posterior identificación de las acciones para reducirla o eliminarla, el AMEF permite la documentación de los hallazgos de cada análisis que se desarrolle sobre un determinado ISED.

El método en mención contiene la siguiente información:

- **SISTEMA**: El funicular está conformado por tres sistemas:
 - a. Sistema Motriz: hace mención al ISED que participa en la acción de transmisión de energía cinética para movilizar a la cabina transportadora de pasajeros.
 - b. Sistema de Transporte: Engloba al ISED que conforma la nomenclatura del carro de transporte de pasajeros
 - c. Sistema de Seguridad: Encasilla a todo sistema que tenga como propósito salvaguardar la integridad del pasajero y del equipo.
- **ISED**: Aquí se presenta el Instrumento/Sistema/Equipo/Dispositivo sobre el cual se aplicará el método en cuestión.
- **Función**: Se refiere a una actividad o al conjunto de actividades que desempeña un ISED de forma principal o complementaria para conseguir un objetivo específico a través de una descripción que, para ser óptima, debe contener un verbo, un objeto y un estándar de desempeño.

- Fallas Funcionales: Una falla es aquella condición en que un ISED no se encuentra disponible para cumplir sus funciones de la forma esperada. Las fallas serán clasificadas en Falla Funcional Parcial y Falla Funcional Total, considerando la primera como la interrupción de la condición normal de operación de un ISED en un porcentaje menor al 100% de su operatividad; y la segunda como la interrupción en un 100% de su operatividad.
- Modo de Falla: Hace referencia a una posible causa por la cual un equipo puede llegar a un estado de falla. Por consiguiente, cada falla funcional puede tener más de un modo de falla. Son enumeradas en función de representar el impacto que tiene su ocurrencia sobre el ISED, siendo el primero el de mayor impacto.
- Efectos de la Falla: Es la descripción de los eventos secuenciales que suceden desde que se origina la falla del componente o equipo hasta que se pierde total o parcialmente las funciones del activo que se esta analizando.

SISTEMA					Efectos de la Falla
ISED	Función	Falla Funcional Parcial	Modo de Falla 1		
			Modo de Falla 2		
			Modo de Falla 3		
		Falla Funcional Total	Modo de Falla 1		
			Modo de Falla 2		
			Modo de Falla 3		

Gráfico 2.1: Formato de Análisis de Modos y Efectos de Falla
Fuente: Elaboración Propia

Existen diversas técnicas de análisis para realizar una base sistémica sobre las fallas que se producen, basándose en dos grandes métodos, los cuales pueden combinarse para desarrollar de mejor manera la técnica de análisis:

- Análisis Cualitativo: se basa en opiniones de especialistas, donde se pueden combinar criterios técnicos y financieros para jerarquizar equipos componentes o sistemas. Este método se caracteriza por ser subjetivo y efectivo en procesos simples.
- Análisis Cuantitativo: este método utiliza datos objetivos para generar una guía de criticidad cuantificada según la frecuencia de falla, impactos en producción, costos de reparación, tiempo de reparación, impactos en seguridad personal e impacto ambiental

Frente al escaso índice de discrepancias registrado posterior a la etapa de renovación del ascensor, detectándose un total de 4 fallas en el micro interruptor de final de carrera, la aplicación del análisis cualitativo fue criterio base a la hora de analizar los siguientes aspectos:

1. Monitoreo constante de los ISED que conforman al ascensor desde la etapa de renovación hasta el presente día.
2. Recopilación de experiencias desarrollada por parte de los equipos de trabajo municipales.
3. Uso de los manuales de mantenimiento respectivos para la recopilación de *troubleshooting* y acciones de mantenimiento.

De esta forma, todos los antecedentes que se lograron compendiar fueron utilizados para la construcción del AMEF dirigido a cada elemento crítico y para la selección de una determinada tarea de mantenimiento con su periodicidad respectiva.

2.4.2. Aplicación Método AMEF

SISTEMA DE SEGURIDAD					Efectos de la falla
ISED	Función	Falla Funcional Parcial	Modo de Falla 1	Fuga de aceite	Amortiguación brusca del carro de transporte en el descenso
Oil Buffer	Absorber y disipar el incremento de energía cinética, soportando una carga máxima de 2600 kp	Falla Funcional Parcial	Modo de Falla 1	Desalineamiento del amortiguador con el ángulo de contacto del chasis de la cabina	Deformación del resorte

SISTEMA DE SEGURIDAD					Efectos de la falla
ISED	Función	Falla Funcional Parcial	Modo de Falla 1	Aristas expuestas en los perfiles de aluminio de la cabina	Riesgo de lesión (cortaduras) para pasajeros
Carro de transporte de pasajeros	Alojar y transportar pasajeros con un máximo de capacidad de 3350 kg		Modo de Falla 2	Chasis con presencia de óxido	Corrosión bajo tensión
		Falla Funcional Total	Modo de Falla 1	Fatiga de piso de madera por fuerza de flexión perpendicular a las fibras	Riesgo de caída del pasajero durante el desplazamiento del carro
			Modo de Falla 2	Apertura de puerta de acceso de pasajeros durante desplazamiento	Riesgo de caída del pasajero durante el desplazamiento del carro

SISTEMA MOTRIZ					Efectos de la falla
ISED	Función	Falla Funcional Parcial	Modo de Falla 1	Presencia de herrumbre en cable	*Corrosión localizada *Reducción de diámetro del cable *Pérdida de ductilidad
Cable	Transmitir la fuerza genereada por el motor eléctrico a los carros de transporte, soportando una masa nominal de 1,8 kg/m		Modo de Falla 2	Inadecuada disposición del cable en parte de su recorrido	*Fatiga del cable *Corrosión por frotación
		Falla Funcional Total	Modo de Falla 1	Esfuerzo de tracción	Cable fracturado
			Modo de Falla 2	Esfuerzos de torsión	*Fenómeno <i>Jaula de pájaro</i> *Cocas *Alambres cortados del torón

SISTEMA DE SEGURIDAD					Efectos de la falla
ISED	Función	Falla Funcional Parcial	Modo de Falla 1	Encorvamiento angular del perfil	Corrosión por rozamiento
Sistema de Protección Antivuelco	Mantener la cabina transportadora de pasajeros con sus ruedas sobre los rieles guías en caso de sobrevelocidad (superior a 3,8 km/h)		Modo de Falla 2	Perfil con capa porosa	Corrosión gráfica
		Falla Funcional Parcial	Modo de Falla 1	Desacoplamiento entre perfil antivuelco y riel guía	Vuelco del carro transportador

SISTEMA DE SEGURIDAD					Efectos de la falla
ISED	Función	Falla Funcional Parcial	Modo de Falla 1	Presencia de oxidación en pernos de pivoteo	Resistencia a la activación del mecanismo
			Modo de Falla 2	Presencia de herrumbre en resorte	Corrosión por picadura
Sistema de Emergencia Antideriva	Trabar el gancho pico de loro en el plano de rodadura en caso de corte del cable de tracción, soportando un esfuerzo de cizalladura de 31,2 Mpa	Falla Funcional Parcial	Modo de Falla 3	Gancho con capa porosa	Corrosión graffítica
			Modo de Falla 1	Desacoplamiento entre perfil antivuelco y riel guía	Vuelco del carro transportador
		Falla Funcional Total	Modo de Falla 2	Perdida de propiedades elásticas del resorte	Acoplamiento ineficiente o nulo del <i>pico de loro</i>
			Modo de Falla 3	Deformación del gancho	Acoplamiento ineficiente del pico de loro

SISTEMA DE TRANSPORTE					Efectos de la falla
ISED	Función	Falla Funcional Parcial	Modo de Falla 1	Baja lubricación del cubo	Emisión de sonido rechinante (indicio de roce entre buje y eje)
Ruedas de Chasis de Carro	Permitir el desplazamiento del carro de transporte de pasajeros sobre el riel guía, soportando sobre cada rueda un peso de 837,5 kg		Modo de Falla 2	Presencia de herrumbre	Corrosión por picadura
		Falla Funcional Parcial	Modo de Falla 1	Desgaste excesivo de buje	Desalineamiento entre eje longitudinal de rueda y de riel guía

SISTEMA DE SEGURIDAD					Efectos de la falla
ISED	Función	Falla Funcional Parcial	Modo de Falla 1	Desalineamiento de rodillo de contacto	*Deformación *Ruptura
Micro Interruptor de Final de Carrera	Reducir la velocidad del carro de transporte desde 3,8 km/h hasta su detención media	Falla Funcional Parcial	Modo de Falla 1	Pérdida de propiedades elásticas del resorte de retorno del rodillo	Inhabilitación de la reducción de velocidad en el arribo del carro a la estación superior
			Modo de Falla 2	Cables eléctricos no aislados	*Cortocircuito *Incendio clase C (circuito eléctrico energizado)

SISTEMA MOTRIZ					Efectos de la falla
ISED	Función	Falla Funcional Parcial	Modo de Falla 1	Obstrucción del ventilador	Incremento de temperatura de funcionamiento
			Modo de Falla 2	Desbalance	Vibraciones excesivas
Motor Eléctrico	Generar energía mecánica de tracción para el desplazamiento de los carros de transporte con una potencia de 30 kW		Falla Funcional Total	Modo de Falla 3	Lubricación deficiente
		Modo de Falla 1		Deterioro del aislamiento	Cortocoiircuito en el bobinado
		Modo de Falla 2	Soporte cojo	*Falla en rodamiento *Flexión del eje *Fisura de los soportes	

SISTEMA MOTRIZ					Efectos de la falla
ISED	Función	Falla Funcional Parcial	Modo de Falla 1	Obstrucción del ventilador	Incremento de temperatura de funcionamiento
			Modo de Falla 2	Desbalance	Vibraciones excesivas
			Modo de Falla 3	Lubricación deficiente	Ruido excesivo
Motor de Frenado	Generar energía electrohidráulica para frenar los tambores de enrollamiento mediante una fuerza nominal de 500 N	Falla Funcional Total	Modo de Falla 1	Deterioro del aislamiento	Cortocircuito en el bobinado
			Modo de Falla 2	Cavitación	*Desgaste *Ruido excesivo *Vibraciones excesivas *Reducción de cabeza de presión de la bomba *Corrosión por picadura *Fluctuaciones en caudal de bomba

SISTEMA MOTRIZ					Efectos de la falla
ISED	Función	Falla Funcional Parcial	Modo de Falla 1	*Lubricante con bajo índice de viscosidad *Sobret temperatura *Sobrevelocidad	Desgaste adhesivo
Rodamientos de Descansos	Asegurar un enlace móvil entre el eje y los tambores, piñones o catalinas con una velocidad angular de referencia promedio de 5020 rpm		Modo de Falla 2	Contaminación del lubricante	Desgaste abrasivo
		Falla Funcional Total	Modo de Falla 1	*Escasa lubricación *Alta vibración	Fractura de rodamiento
			Modo de Falla 2	*Deflexiones del eje o del alojamiento (cubeta)	Ludimiento

SISTEMA DE SEGURIDAD					Efectos de la falla
ISED	Función	Falla Funcional Parcial	Modo de Falla 1	Presencia de herrumbre en cable de sujeción de contrapeso	*Reducción de diámetro del cable *Potencial caída del contrapeso
Freno de Emergencia	Frenar los tambores de enrollamiento mediante la aplicación mecánica de 7694 N		Modo de Falla 2	Regulación incorrecta de la compresión nominal del freno	Desgaste dispar de balatas de madera
		Falla Funcional Total	Modo de Falla 1	Fatiga en punto de pivoteo de leva de mando	Pérdida de gobierno del freno
			Modo de Falla 2	Pérdida de propiedades elásticas del resorte regulador de compresión	Compresión ineficiente sobre el tambor

2.4.3. Índice de Prioridad de Riesgo

Atendiendo a un criterio de seguridad, este índice también conocido por sus siglas IPR permite una evaluación del riesgo que conllevaría la ocurrencia de la falla que amenaza el normal funcionamiento de los ISED, permitiendo así jerarquizar cuál de todos los modos de falla identificados es más significativo, considerando como riesgo la probabilidad de ocurrencia de un evento o resultado no deseado. Para la determinación del IPR utilizaremos tres variables a saber:

- 1. Severidad o Gravedad: es la medida del efecto de la falla y determina qué tan grave es el daño producido si la falla ocurriese. Es representada con la letra S o G.

- 2. Ocurrencia: es la probabilidad de que la causa se produzca y dé lugar a un modo de falla, vale decir, la posibilidad de que una causa termine en daño. Es representada con la letra *O*.
- 3. Detección o Probabilidad: probabilidad de que un modo de falla sea detectado con los controles establecidos. Es decir, la frecuencia en la que se produce una situación capaz de desencadenar un accidente realizando la actividad analizada. Es representada con la letra *D* o *P*.

Para la evaluación de la significancia del riesgo, los valores a utilizar en la determinación de la gravedad, ocurrencia y detección son los que se presentan a continuación:

SEVERIDAD (S) / GRAVEDAD (D)	
Pequeñas molestias, sin daños	1
Daños menores. Poco efecto en el desempeño del sistema	2 al 3
Daños que provocan la baja en el trabajador. Necesidad de cura. Parada de corta duración en el proceso	4,5 al 6
Lesiones graves o incapacidades permanentes. Fallo que afecta al proceso	7 al 8
Muerte, varias muertes	9 al 10
OCURRENCIA (O)	
Remota probabilidad de que se produzca un daño	1
Poca probabilidad de que se produzca un daño	2 al 3
Moderada probabilidad de que se produzca un daño	4,5 al 6
Alta probabilidad de que se produzca un daño (una de cada dos veces)	7 al 8
Muy alta probabilidad de que se produzca un daño	9 al 10
DETECCIÓN (D) / PROBABILIDAD (P)	
Continua exposición del trabajador o el defecto es obvio	1
Frecuente exposición o probabilidad baja de que no se detecte	2 al 3
Escasa exposición probabilidad media de que no se detecte	4,5 al 6
Rara exposición o alta probabilidad de que no se detecte	7 al 8
Prácticamente imposible de detectar	9 al 10

Multiplicando las tres variables obtendremos el índice de prioridad de riesgo mediante la siguiente fórmula matemática:

$$\text{IPR} = \text{Gravedad} * \text{Ocurrencia} * \text{Detección}$$

El resultado del IPR proveerá la prioridad con la que se debe atender un determinado modo de falla y aquellos que resulten con un mayor IPR se les debe dar la máxima prioridad para la acción de mantenimiento. Esto no quita relevancia a las que resulten con un valor menor, ya que el definir un modo de falla como *menos grave que otro* es yerro. Por lo contrario, es más óptimo establecer que un modo de falla pueda ocurrir con mayor

frecuencia o que sea menos detectable que otro. Los criterios para la establecer la necesidad de que un cierto modo de falla requiera la aplicación de acciones de mantenimiento está determinada mediante la siguiente matriz de severidad de riesgo:

RANGO	CRITERIOS		
<125	1	Trivial	Riesgo asumible con posible mejora
125<216	2	Tolerable	Riesgo asumible con posible mejora
216<512	3	Importante	Mejoras procedentes
512<729	4	Muy importante	Medidas preventivas de tipo técnico
729-1000	5	Intolerable	Medidas preventivas de tipo técnico

2.4.3.1. Cálculo de Índice de Prioridad de Riesgo

Debido a que no han sido registradas discrepancias por parte del equipo municipal desde la puesta en marcha del ascensor funicular una vez aplicado el *Mejoramiento Integral*, y que las acciones de mantenimiento están siendo ejecutadas por personal de mantención de las empresas de proveniencia de los determinados ISED comprometidos en el análisis, las variables de severidad, ocurrencia y detección establecidos para cada modo de falla son obtenidos de manera subjetiva, considerando como orientación a la selección de los valores la línea de mantenimiento aplicada por el equipo mantenedor perteneciente el Departamento de Inspección Técnica de Obras en la actualidad.

SISTEMA DE SEGURIDAD						
ISED	MODO DE FALLA	G	O	D	IPR	SEVERIDAD
Oil Buffer	Fuga de aceite	6	5	6	180	TOLERABLE
	Desalineamiento del amortiguador con el ángulo de contacto delchasis de la cabina	7	2	9	126	TOLERABLE

SISTEMA DE SEGURIDAD						
ISED	MODO DE FALLA	G	O	D	IPR	SEVERIDAD
Carro de transporte de pasajeros	Aristas expuestas en los perfiles de aluminio de la cabina	3	1	1	3	TRIVIAL
	Chasis con presencia de óxido	2	7	1	14	TRIVIAL
	Fatiga de piso de madera por fuerza de flexión perpendicular a las fibras	3	3	7	63	TRIVIAL
	Apertura de puerta de acceso de pasajeros durante desplazamiento	7	6	5	210	TOLERABLE

SISTEMA MOTRIZ						
ISED	MODO DE FALLA	G	O	D	IPR	SEVERIDAD
Cable	Presencia de herrumbre en cable	7	7	7	343	IMPORTANTE
	Inadecuada disposición del cable en parte de su recorrido	8	4	3	96	TRIVIAL
	Esfuerzo de tracción	9	4	10	360	IMPORTANTE
	Esfuerzos de torsión	9	4	9	324	IMPORTANTE

SISTEMA DE SEGURIDAD						
ISED	MODO DE FALLA	G	O	D	IPR	SEVERIDAD
Sistema de Protección Antivuelco	Encorvamiento angular del perfil	2	2	8	32	TRIVIAL
	Perfil con capa porosa	2	4	8	64	TRIVIAL
	Desacoplamiento entre perfil antivuelco y riel guía	10	5	5	250	IMPORTANTE

SISTEMA DE SEGURIDAD						
ISED	MODO DE FALLA	G	O	D	IPR	SEVERIDAD
Sistema de Emergencia Antideriva	Presencia de oxidación en pernos de pivoteo	7	4	5	140	TOLERABLE
	Presencia de herrumbre	7	7	7	343	IMPORTANTE
	Gancho con capa porosa	2	4	8	64	TRIVIAL
	Desacoplamiento entre perfil antivuelco y riel guía	10	6	5	300	IMPORTANTE
	Perdida de propiedades elásticas del resorte	5	4	8	160	TOLERABLE
	Deformación del gancho	6	2	2	24	TRIVIAL

SISTEMA DE TRANSPORTE						
ISED	MODO DE FALLA	G	O	D	IPR	SEVERIDAD
Ruedas de Chasis de Carro	Baja lubricación del cubo	4	3	6	72	TRIVIAL
	Presencia de herrumbre	7	7	7	343	IMPORTANTE
	Desgaste excesivo de buje	9	5	9	405	IMPORTANTE

SISTEMA DE SEGURIDAD						
ISED	MODO DE FALLA	G	O	D	IPR	SEVERIDAD
Micro Interruptor de Final de Carrera	Desalineamiento de rodillo de contacto	6	6	8	288	IMPORTANTE
	Pérdida de propiedades elásticas del resorte de retorno del rodillo	10	6	7	420	IMPORTANTE
	Cables eléctricos no aislados	9	7	8	504	IMPORTANTE

SISTEMA MOTRIZ						
ISED	MODO DE FALLA	G	O	D	IPR	SEVERIDAD
Motor Eléctrico	Obstrucción del ventilador	7	3	6	126	TOLERABLE
	Desbalance	7	6	9	378	IMPORTANTE
	Lubricación deficiente	4	3	8	96	TRIVIAL
	Deterioro del aislamiento	9	5	9	405	IMPORTANTE
	Soporte cojo	7	6	6	252	IMPORTANTE

SISTEMA MOTRIZ						
ISED	MODO DE FALLA	G	O	D	IPR	SEVERIDAD
Motor de Frenado	Obstrucción del ventilador	7	3	6	126	TOLERABLE
	Desbalance	7	6	9	378	IMPORTANTE
	Lubricación deficiente	4	3	8	96	TRIVIAL
	Deterioro del aislamiento	9	5	9	405	IMPORTANTE
	Cavitación	9	4	6	216	IMPORTANTE

SISTEMA MOTRIZ						
ISED	MODO DE FALLA	G	O	D	IPR	SEVERIDAD
Rodamientos de Descansos	*Lubricante con bajo índice de viscosidad *Sobret temperatura *Sobrevelocidad	7	7	9	441	IMPORTANTE
	Contaminación del lubricante	7	7	6	294	IMPORTANTE
	*Escasa lubricación *Alta vibración	10	3	6	180	TOLERABLE
	*Deflexiones del eje o del alojamiento (cubeta)	7	5	8	280	IMPORTANTE

SISTEMA DE SEGURIDAD						
ISED	MODO DE FALLA	G	O	D	IPR	SEVERIDAD
Freno de Emergencia	Presencia de herrumbre en cable de sujeción de contrapeso	7	7	7	343	IMPORTANTE
	Regulación incorrecta de la compresión nominal del freno	7	3	8	168	TOLERABLE
	Fatiga en punto de pivoteo de leva de mando	10	7	9	630	MUY IMPORTANTE
	Pérdida de propiedades elásticas del resorte regulador de compresión	10	3	9	270	IMPORTANTE

2.4.4. Tareas Proactivas de Mantenimiento

Son aquellas tareas aplicadas al ISED en cuestión antes de que ocurra la falla, con el objetivo de prevenir que se origine la discrepancia en él. Para cada uno de los ISED corresponde un determinado número de tareas de mantenimiento, las cuales se deben respetar a cabalidad con el propósito de alcanzar la disponibilidad requerida, prolongar su vida útil, reducir costes e incrementar el estándar de seguridad del servicio de transporte que se ofrece tanto para el usuario como también para la organización mantenedora y de operación.

La alta confiabilidad presente posterior a la etapa de renovación del ascensor se ha sustentado en gran medida por la garantía otorgada por parte de los fabricantes quienes, por un periodo de 2 años desde la adquisición, destinarán labores de mantenimiento, siempre que las discrepancias que ocurran se adecúen a sus determinadas cláusulas; por lo que una vez se concluyan los periodos de validez de garantía (mediados del año 2018), el medio más óptimo para garantizar una alta confiabilidad será operar acorde a lo especificado por los manuales de mantenimientos respectivos. Gracias a estos se logró establecer las acciones de mantenimiento que serán dirigidas a los modos de falla considerados durante la aplicación del método AMEF y la frecuencia con la que se requerirá la intervención del mantenedor.

La frecuencia de las acciones de mantenimiento se haya expresadas en tiempo calendario con la finalidad de organizar estas tareas de manera sistematizada durante el transcurso del tiempo en que el servicio se ofrece, permitiendo así una organización cronológica de actividades. La frecuencia de las acciones de mantenimiento se clasifica en:

- Semana: la acción de mantenimiento se debe ejecutar con una periodicidad de 7 días.
- Quincenal: la acción de mantenimiento se debe ejecutar con una periodicidad de 15 días.
- Mensual: la acción de mantenimiento se debe ejecutar con una periodicidad de 30 días.
- Bimestral: la acción de mantenimiento se debe ejecutar con una periodicidad de 2 meses (60 días).
- Trimestral: la acción de mantenimiento se debe ejecutar con una periodicidad de 3 meses (90 días).
- Semestral: la acción de mantenimiento se debe ejecutar con una periodicidad de 6 meses (180 días).
- Anual: la acción de mantenimiento se debe ejecutar con una periodicidad de 1 año (365 días).
- A Requerimiento: corresponde a la exanimación, reconocimiento y atención de una cierta discrepancia evidenciada por parte del mantenedor u operador en el funcionamiento del ISED, basando su acción de mantenimiento en criterios correctivos o preventivos circunstanciales.

Finalmente, se cuantifican las horas de presencia o intervención del mantenedor en la determinada acción de mantenimiento mediante la expresión matemática H/H .

Horas/Hombre o también conocida como *Hora/Persona*, es una unidad de estimación del esfuerzo necesario para realizar una tarea cuya unidad equivale a una hora de trabajo ininterrumpida de un trabajador. Así, si dos trabajadores tardan 4 horas en realizar un trabajo, se obtiene un consumo de 8 H/H (obtenido de multiplicar 4 horas x 2 personas).

1. Sistema Motriz

1.1.Cables

	Nº TAREA	SEMANAL	QUINCENAL	MENSUAL	BIMENSUAL	TRIMENSUAL	SEMESTRAL	ANUAL	A REQUERIMIENTO	HORA/HOMBRE (H/H)
Inspección visual a todo el largo del cable.	1	X								1,0
Chequeo del estado de lubricación.	2	X								1,0
Medición del diámetro del cable (22 mm)	3	X								0,5
Control de la elongación del cable.	4			X						0,2
Lubricación del cable.	5								X	4,0
Inspección profunda en las zonas de terminales de suspensión.	6	X								0,2
Chequeo del estado de las copas de fijación (terminales de suspensión).	7	X								0,1
Limpieza general, asegurando ausencia de corrosión.	8			X						0,1

1.2.Motor Eléctrico

	Nº TAREA	SEMANAL	QUINCENAL	MENSUAL	BIMENSUAL	TRIMENSUAL	SEMESTRAL	ANUAL	A REQUERIMIENTO	HORA/HOMBRE (H/H)
Medición de parámetros eléctricos de operación.	9		x							2,0
Medición de aislación de componentes.	10	x								2,0
Reapriete de conexiones en caja de bornes.	11	x								1,0
Verificación del correcto estado de carbones y sus elementos de fijación.	12	x								1,0
Limpieza de las delgas del colector.	13	x								0,1
Análisis Termográfico.	14	x								2,0
Verificación correcto estado de cableado eléctrico.	15			x						1,0
Aseo General.	16	x								0,5

1.3.Motor de Frenado

	N° TAREA	SEMANAL	QUINCENAL	MENSUAL	BIMENSUAL	TRIMENSUAL	SEMESTRAL	ANUAL	A REQUERIMIENTO	HORA/HOMBRE (H/H)
Análisis muestras de líquido hidráulico.	17					x				1,0
Medición de aislación de componentes.	18	x								2,0
Análisis de vibraciones.	19				x					1,0
Aseo General	20	x								0,5
Verificación correcto estado de cableado eléctrico.	21			x						1,0
Overhaul	22							x		40,0
Cambio o rellenado de líquido hidráulico	23								x	0,2
Análisis Termográfico.	24		x							2,0

1.4.Rodamientos de Descansos

	N° TAREA	SEMANAL	QUINCENAL	MENSUAL	BIMENSUAL	TRIMENSUAL	SEMESTRAL	ANUAL	A REQUERIMIENTO	HORA/HOMBRE (H/H)
Inspección visual por desgaste, deformación o sobrettemperatura.	25			x						0,1
Reemplazo de rodamiento.	26								x	0,3
Verificación de cubetas por presencia de grietas o sobrettemperatura	27			x						0,1
Reemplazo de cubeta.	28								x	1,0
Lubricación.	29		x							0,2
Análisis de vibraciones.	30		x							1,0
Análisis Termográfico.	31		x							2,0

3. Sistema de Seguridad

3.1.Oil Buffer

	N° TAREA	SEMANAL	QUINCENAL	MENSUAL	BIMENSUAL	TRIMENSUAL	SEMESTRAL	ANUAL	A REQUERIMIENTO	HORA/HOMBRE (H/H)
Inspección visual por presencia de desgaste, desalineamiento y fuga de aceite	49	x								0,4
Prueba de rebote de muelle.	50				x					4,0
Verificar nivel de aceite.	51	x								1,0
Reapriete de pernos de amarre	52			x						1,0

3.2.Sistema de Protección Antivuelco

	N° TAREA	SEMANAL	QUINCENAL	MENSUAL	BIMENSUAL	TRIMENSUAL	SEMESTRAL	ANUAL	A REQUERIMIENTO	HORA/HOMBRE (H/H)
Inspección visual por detección de corrosión, grietas y encorvamiento del perfil.	53	x								0,1
Aplicación de imprimante.	54		x							0,2
Inspección NDI (prueba de ultrasonido).	55					x				5,0
Inspección NDI (líquidos penetrantes).	56					x				5,0

3.3.Sistema de Emergencia Antideriva

	Nº TAREA	SEMANAL	QUINCENAL	MENSUAL	BIMENSUAL	TRIMENSUAL	SEMESTRAL	ANUAL	A REQUERIMIENTO	HORA/HOMBRE (H/H)
Inspección visual por detección de corrosión, grietas y desalineamientos.	57	x								0,1
Aseo General.	58	x								0,2
Reapriete de empernaduras.	59		x							1,0
Lubricación de componetes.	60	x								1,0
Pruebas de elasticidad de resortes.	61							x		4,0
Inspección NDI (prueba de ultrasonido).	62					x				5,0
Inspección NDI (líquidos penetrantes).	63					x				5,0
Pruebas de disparo manual del sistema pico de loro verificando enclavamiento.	64				x					3,0

3.4.Micro Interruptor de Final de Carrera

	Nº TAREA	SEMANAL	QUINCENAL	MENSUAL	BIMENSUAL	TRIMENSUAL	SEMESTRAL	ANUAL	A REQUERIMIENTO	HORA/HOMBRE (H/H)
Verificación correcto estado de funcionamiento de componentes	65	x								1,0
Revisión conexiones y cableados.	66	x								0,5
Limpieza general.	67	x								0,3
Pruebas de funcionamiento con el sistema de control.	68	x								1,0

3.5.Freno de Emergencia

	N° TAREA	SEMANAL	QUINCENAL	MENSUAL	BIMENSUAL	TRIMENSUAL	SEMESTRAL	ANUAL	A REQUERIMIENTO	HORA/HOMBRE (H/H)
Aseo General.	69	x								0,2
Lubricación de componentes.	70		x							0,5
Inspección visual, verificando presencia de corrosión, grietas y deformaciones.	71	x								0,3
Chequeo de cable de fijación de contrapeso.	72			x						0,1
Reapriete de pernos.	73		x							0,5
Verificar espesor de balatas de madera (50 mm)	74		x							0,2
Cambio de balatas.	75								x	2,0

2.4.5. Confiabilidad

La confiabilidad es la probabilidad estadística de que un sistema, activo o componente lleve a cabo su función básica adecuadamente durante un período de tiempo preestablecido, bajo condiciones operacionales previamente definidas y constantes. Esta es calculada mediante la información de los registros de paros o detenciones del funcionamiento del activo a considerar. La ecuación básica para el cálculo de confiabilidad se basa en la expresión desarrollada por el Ingeniero Electricista de nacionalidad brasileña Lourival Tavares, en la cual la confiabilidad está en función del MTTR y el MTBF de la siguiente forma:

$$R = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \times 100$$

Donde:

- R = Confiabilidad
- MTBF = Mean Time Between Failures (Tiempo Medio Entre Fallas)
- MTTR = Mean Time To Repair (Tiempo Medio para Reparar)



Figura 3.1: Ing. Lourival Tavares
Fuente: mc-latam.com

El MTBF es aquel promedio de tiempo transcurrido entre una falla y la siguiente, considerándose así como el tiempo promedio en que un ISED funciona hasta su falla o detención, requiriendo así la reparación y es solamente aplicable a sistemas reparables. El MTTR es aquel tiempo promedio que toma reparar el ISED después de una falla. La adición de MTBF y MTTR en el denominados equivale al número total de eventos, vale decir el tiempo total de funcionamiento del activo más el tiempo que detención para reparaciones. El cálculo de MTBF y MTTR se obtienen de la siguiente forma:

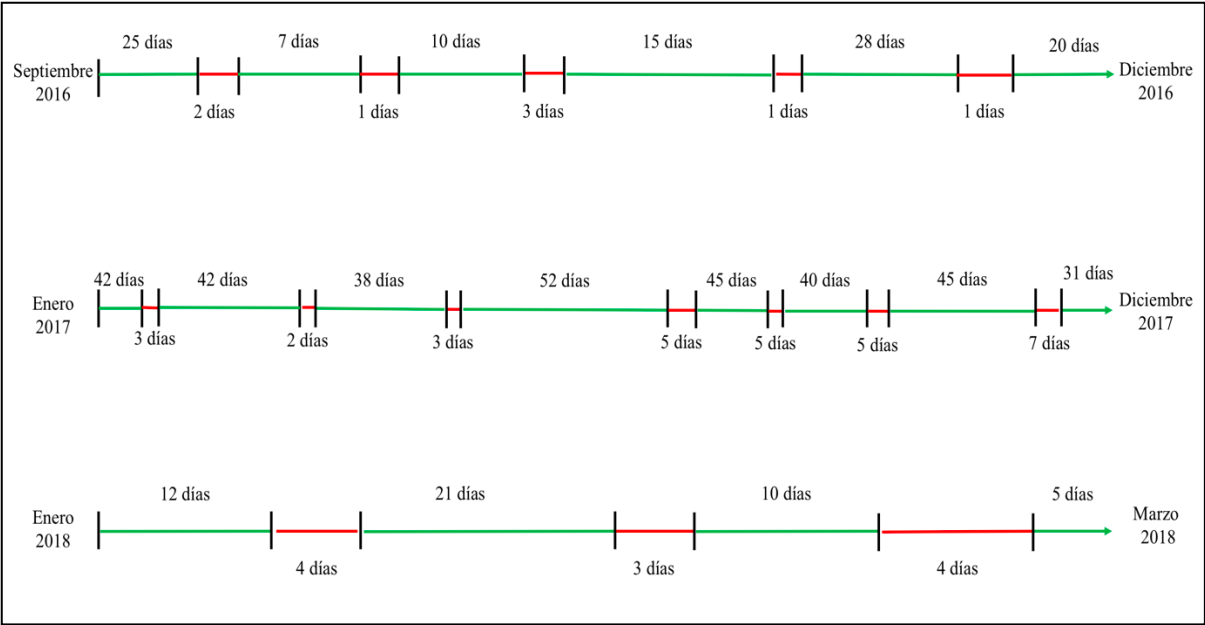
$$MTBF = \frac{\text{TIEMPO TOTAL DE FUNCIONAMIENTO}}{\text{NÚMERO DE FALLAS}}$$

$$MTTR = \frac{\text{TIEMPO TOTAL DE INACTIVIDAD}}{\text{NÚMERO DE FALLAS}}$$

El periodo de tiempo considerado para el análisis en pos de la obtención de MTBF y MTTR abarca desde el 09 de septiembre del 2016 (conclusión de proyecto *Mejoramiento Integral Ascensor El Peral de Valparaíso*) hasta el 01 de marzo del 2018, y será considerado el número de detenciones del servicio a la hora de la obtención del *número de fallas* tanto en MTBF como en MTTR. Para la representación del comportamiento del ascensor se ha establecido la parcelación del periodo total en tres etapas:

- 1. Septiembre del 2016 hasta diciembre del 2016
- 2. Enero del 2017 hasta diciembre del 2017
- 3. Enero del 2018 hasta marzo del 2018

Las líneas cronológicas se han construido en base a la disponibilidad diaria del servicio en que se hallase el ascensores, expresándose con línea horizontal color verde aquel lapso de tiempo de funcionamiento del servicio y de color rojo en representación del tiempo de inactividad del servicio(parada), considerando que los tiempo de parada del servicio expresados para El Peral manifiestan etapas de monitoreo de los nuevos ISED por parte de las empresas garantes y el equipo mantenedor municipal:



2.4.5.1. Cálculo de MTBF, MTTR y Confiabilidad

$$MTBF = \frac{\text{TIEMPO TOTAL DE FUNCIONAMIENTO}}{\text{NÚMERO DE FALLAS}} = \frac{537}{15} = 35,8 \text{ días}$$

El *TIEMPO TOTAL DE FUNCIONAMIENTO* (537 días) se obtiene en base a la suma total de días considerados durante el periodo de tiempo sujeto a análisis, mientras que el *NÚMERO DE FALLAS* (15 días) considera el total de eventos de detención del servicio durante el tiempo total de funcionamiento. Que MTBF sea equivalente a 35,8 nos indica que, en promedio, cada 36 días ocurre una detención del servicio.

$$MTTR = \frac{\text{TIEMPO TOTAL DE INACTIVIDAD}}{\text{NÚMERO DE FALLAS}} = \frac{49}{15} = 3,26 \text{ días}$$

El *TIEMPO TOTAL DE INACTIVIDAD* (49 días) se obtiene mediante la suma total de días en que el servicio del ascensor funicular se mantuvo en detención, mientras que el *NÚMERO DE FALLAS* (15 días), al igual que en el cálculo de MTBF, considera el total de eventos de detención del servicio durante el tiempo total de funcionamiento. Que MTTR sea equivalente a 3,26 días quiere decir que el servicio permanece detenido en promedio, durante 3 días y 6 horas.

$$R = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \times 100 = \frac{35,8}{35,8 + 3,26} \times 100 = 91,65 \%$$

Al obtener la confiabilidad, se determina que el ascensor funicular posee un 91,65% de probabilidades de que ejecute sus servicios de manera óptima, sin entrar en etapa de detención durante el periodo de 1 año y 6 meses aproximadamente en que se proyectó el análisis.

2.4.6. Herramientas e Insumos

2.4.6.1. Herramientas Generales

Ejecución de Maniobras
Estrobos 3/4 pulgadas de 3 metros
Grilletes de 1 1/8 pulgada
Grilletes de 1 pulgada
Grilletes de 3/4 pulgada
Grilletes de 1/2 pulgada
Eslingas 6 metros
Herramientas Manuales
Llave de torque chicharra 40-210 Nm
Juego de llaves punta-corona (mm)
Juego de llaves punta-corona (pulgadas)
Juego de dados y accesorios (mm)
Juego de dados y accesorios (pulgadas)
Llave ajustable 8 pulgadas (francesa)
Juego de atornilladores
Juego de alicates
Alicate Caimán
Martillo
Barretas
Espátula
Brocha
Rodillo poliéster
Tornillo Mecánico
Herramientas Eléctricas
Esmeril angular 4 1/2 Pulgadas
Esmeril angular 7 Pulgadas
Taladro manual 10 mm
Aspiradora
Linterna recargable
Lámpara portátil
Foco halógeno con pedestal
Maleta de herramientas
Controlador de aislamiento C.A 6511
Extensión eléctrica 20 metros
Instrumentación
Tester
Termómetro infrarrojo
Pie de Metro 6 pulgadas
Micrómetro 0 - 25 mm

2.4.6.2. Elementos de Protección Personal

ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL
Overol
Pares guantes de cuero
Zapatos de seguridad
Casco de Trabajo
Barbiquejo
Antiparras de seguridad
Protecciones auditivas
Guantes de látex (caja)
Guantes de agarre
Arnés de seguridad
Cabos de vida
Botiquín primeros auxilios

2.4.6.3. Fungibles

FUNGIBLES
Limpiacontactos espray
Desengrasante Industrial (5kg)
Diluyente (5 litros)
Grasa lubricante (kg)
Aceite lubricante (10 litros)
Pintura color AC098N Java Green (galón)
Pintura color 7406N Real Red (galón)
Pintura color 7240W Chaste White(galón)
Pintura color 8796N Black Metal (galón)
Imprimante Primer Poliuretano P-710 (galón)
Galón pintura de terminación Color 3
Kilogramo de guaípe
Paño limpieza (kilogramos)
Brocha
Escobilla de acero
Escobillón
Pala
Líquido Hidráulico (galón)

2.4.7. Perfil del Mantenedor

Al futuro personal encargado del área de mantenimiento de los ascensores funiculares no se le exige grado académico ni técnico o ingenieril. Al momento de la incorporación del personal recién ingresado al equipo de trabajo, se le somete a un periodo de pruebas en el cual se analizan las aptitudes y actitudes profesionales que estos poseen, considerando si estas son compatibles o no con el servicio, como también se evalúan las condiciones físicas para someterse a las dificultades de una labor de mantenimiento en planos inclinados; evaluación la cual se encuentra desligada de cualquier ficha de condición física predeterminada. El periodo de prueba abarca un plazo de 15 días hábiles y la evaluación es dirigida por el ingeniero ITO (Inspector Técnico de Obras) entregando las novedades pertinentes a la Oficina de Ascensores Municipales para determinar la continuidad o interrupción del ejercicio de mantenimiento del personal en cuestión.

CAPÍTULO 3: ANÁLISIS ECONÓMICO DEL MANTENIMIENTO

3.1. GESTIÓN DE COSTOS

3.1.1. Descripción de Gestión de Costos

La finalidad de la gestión de costos es la de fomentar la optimización de los recursos capitales con los que cuenta una determinada entidad para ser usados de manera eficiente y eficaz en la adquisición de materiales (herramientas, materia prima, insumos, etcétera), contratación de personal y el incremento de la disponibilidad de los ISED comprometidos en la prestación del servicio en cuestión.

Para el análisis de criterios de costos, se deben considerar:

1. Costos Directos: Están relacionados con el rendimiento de la empresa y son inversamente proporcionales al estado de conservación de sus ISED; influyen la cantidad de tiempo que se emplea el equipo y la atención que este requiere, tales como:
 - Costos de mano de obra directa y contratada.
 - Costos de materiales.
 - Costos de la utilización de herramientas y equipos.
2. Costos Indirectos: Son aquellos costos que no pueden relacionarse a un trabajo específico. Por lo general, suelen ser: la supervisión, almacén, instalaciones, servicio de taller, accesorios diversos, administración, servicios públicos, etcétera. No serán considerados los costos indirectos en el análisis, debido a que la supervisión será incluida en la clasificación de Costos de mano de obra (Costo Directo).

Para los cálculos de costos se han considerado periodos mensuales, semestrales y anuales con el fin de tener la facilidad de profundizar el análisis de costos en periodos de tiempo diversos para una futura aplicación por parte del Departamento de Administración de Bienes Municipales de la Ilustre Municipalidad de Valparaíso. Sin embargo cada total especificado está delimitado en un periodo de un año, convergiendo así los totales calculados en un lapso de tiempo equivalente.

3.1.2. Aplicación de Gestión de Costos

3.1.2.1. Costos Directos

- Costos de Mano de Obra
Movilización

	Renta de Vehículo	Lubricantes y Aceites	Consumos Varios
Mensual	\$127.780	\$15.000	\$30.000
Semestral	\$766.680	\$90.000	\$180.000
Anual	\$1.533.360	\$180.000	\$360.000
TOTAL FINAL	\$ 2.073.360 (a)		

Salarios Personal de Mantención

El equipo técnico del área de mantenimiento del ascensor funicular está conformado por el ingeniero ITO (Inspector Técnico de Obras) y seis técnicos mantenedores de los cuales uno de ellos asume el rol de supervisor de obras.

Mediante la Ilustre Municipalidad de Valparaíso se establecen según los grados de sueldo para el personal según su cargo de responsabilidad. Todo esto estipulado por documentación legal especificada en el documento de Escala de Sueldos de Funcionarios Municipales regida por la ley N° 18.883 - *Estatuto Administrativo para Funcionarios Municipales*.

Grado	Estamento	Remuneración Bruta
9	Técnico	\$ 1.166.200
10	Técnico	\$ 964.974
11	Técnico-Administrativo	\$ 806.864
12	Técnico-Administrativo	\$ 733.188
13	Técnico-Administrativo-Auxiliar	\$ 628.342
14	Técnico-Administrativo-Auxiliar	\$ 549.056
15	Técnico-Administrativo-Auxiliar	\$ 483.280
16	Técnico-Administrativo-Auxiliar	\$ 461.718
17	Técnico-Administrativo-Auxiliar	\$ 406.944
18	Administrativo-Auxiliar	\$ 383.982
19	Auxiliar	\$ 378.285
20	Auxiliar	\$ 338.269

Gráfico 3.1: Escala de sueldos mensual de funcionarios municipales (en pesos chilenos)
Fuente: Elaboración Propia

Considerando la documentación municipal sobre el personal que conforma el equipo de trabajo en el área de mantenimiento de los ascensores, es que recae la siguiente escala de sueldos:

1 Ingeniero Inspector Técnico de Operaciones	:	\$806.864
1 Técnico Supervisor	:	\$628.342
5 Técnicos en Mantenimiento	:	\$483.28

<u>TOTAL DE COSTOS MANO DE OBRA</u> <u>MOVILIZACIÓN</u> TOTAL = (a) = \$ 2.073.360 (a) <u>SALARIOS PERSONAL DE MANTENCIÓN</u> \$806.864 + \$628.342 + (\$483.280 * 5) = \$ 3.851.606 EN EL PERIODO DE 1 AÑO (12 MESES) = \$3.851.606 * 12 = \$ 46.219.272 (b) <u>TOTAL COSTOS DE MANO DE OBRA</u> SEA TOTAL COSTOS DE MANO DE OBRA = (a)+(b) TAL QUE (a)+(b) = \$2.073.360 + \$ 46.219.272 = \$ 48.292.632 (c)
--

- Costos de Materiales
Herramientas Generales

	Cantidad	Valor por unidad	Total
Ejecución de Maniobras			
Estrobos 3/4 pulgadas de 3 metros	6	\$60.000	\$360.000
Grilletes de 1 1/8 pulgada	6	\$15.500	\$93.000
Grilletes de 1 pulgada	6	\$13.780	\$82.680
Grilletes de 3/4 pulgada	8	\$12.790	\$102.320
Grilletes de 1/2 pulgada	8	\$5.390	\$43.120
Eslingas 6 metros	2	\$18.890	\$37.780
Herramientas Manuales			
Llave de torque chicharra 40-210 Nm	1	\$68.000	\$68.000
Juego de llaves punta-corona mm FORCE	2	\$61.090	\$122.180
Juego de llaves punta-corona pulgadas	2	\$87.220	\$174.440
Juego de dados y accesorios mm	1	\$22.590	\$22.590
Juego de dados y accesorios pulgadas	1	\$69.990	\$69.990
Llave ajustable 8 pulgadas (francesa)	2	\$8.490	\$16.980
Juego de atornilladores	2	\$11.990	\$23.980
Juego de alicates	2	\$8.590	\$17.180
Alicate Caimán	1	\$4.990	\$4.990
Martillo	1	\$11.990	\$11.990
Barretas	2	\$8.390	\$16.780
Espátula	10	\$1.190	\$11.900
Brocha	15	\$2.990	\$44.850
Rodillo poliéster	15	\$3.690	\$55.350
Tornillo Mecánico	1	\$23.000	\$23.000
Herramientas Eléctricas			
Esmeril angular 4 1/2 Pulgadas	1	\$34.990	\$34.990
Esmeril angular 7 Pulgadas	1	\$69.990	\$69.990
Taladro manual 10 mm	1	\$25.990	\$25.990
Aspiradora	1	\$29.490	\$29.490
Linterna recargable	4	\$17.790	\$71.160
Lámpara portátil	2	\$25.990	\$51.980
Foco halógeno con pedestal	2	\$14.990	\$29.980
Maleta de herramientas	2	\$17.990	\$35.980
Controlador de aislamiento C.A 6511	1	\$313.000	\$313.000
Extensión eléctrica 20 metros	2	\$20.790	\$41.580
Instrumentación			
Tester	1	\$44.990	\$44.990
termómetro infrarrojo	1	\$59.000	\$59.000
Pie de Metro 6 pulgadas	1	\$35.000	\$35.000
Micrómetro 0 - 25 mm	1	\$45.000	\$45.000
		TOTAL FINAL	\$2.291.230 (d)

La cantidad de herramientas está sujeta a que ninguna discrepancia afecte la operatividad de las mismas en el periodo de 1 año. Cualquier afección que se presente en ellas e imposibilite su uso durante las tareas de mantenimiento, significará el reemplazo de la misma , incorporando esta al inventario de *Herramientas Discrepadas* para dar de baja *a posteriori*.

Protección Personal

ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL	Cantidad Semestral	Valor por Unidad	Total Anual
Overol	10	\$8.390	\$167.800
Pares guantes de cuero	10	\$1.822	\$36.440
Zapatos de seguridad	7	\$19.990	\$279.860
Casco de Trabajo	10	\$2.090	\$41.800
Barbiquejo	10	\$200	\$4.000
Antiparras de seguridad	14	\$1.690	\$47.320
Protecciones auditivas	20	\$3.690	\$147.600
Guantes de látex (caja)	20	\$5.290	\$211.600
Guantes de agarre	4	\$3.490	\$27.920
Arnés de seguridad	7	\$23.390	\$327.460
Cabos de vida	8	\$10.864	\$173.824
Botiquín primeros auxilios	1	\$2.790	\$5.580
		TOTAL FINAL	\$1.471.204 (e)

En el esquema de *Elementos de Protección Personal* se expresa la cantidad tanto semestral como anual. La primera es debido a que la adquisición de estos se efectuará de manera semestral. Sin embargo, el desarrollo de análisis de costos se considera en un periodo de 1 año.

Elementos Fungibles

Se reconoce como elemento fungible a todo aquel que se consume con su uso.

FUNGIBLES	Cantidad Semestral	Valor por Unidad	Total Anual
Limpiacontactos espray	10	\$4.030	\$80.600
Desengrasante Industrial (5kg)	6	\$6.614	\$79.368
Diluyente (5 litros)	4	\$10.360	\$82.880
Grasa lubricante (kg)	7	\$6.000	\$84.000
Aceite lubricante (10 litros)	4	\$10.875	\$87.000
Pintura color AC098N Java Green (galón)	6	\$30.000	\$360.000
Pintura color 7406N Real Red (galón)	6	\$30.000	\$360.000
Pintura color 7240W Chaste White(galón)	6	\$30.000	\$360.000
Pintura color 8796N Black Metal (galón)	6	\$30.000	\$360.000
Imprimante Primer Poliuretano P-710 (galón)	8	\$5.000	\$80.000
Kilogramo de quaipe	22	\$3.990	\$175.560
Paño limpieza (kilogramos)	23	\$10.500	\$483.000
Brocha	6	\$2.790	\$33.480
Escobilla de acero	6	\$3.690	\$44.280
Escobillón	10	\$5.790	\$115.800
Pala	10	\$6.990	\$139.800
Líquido Hidráulico (galón)	8	\$5.500	\$88.000
		TOTAL FINAL	\$3.013.768 (f)

Consumos Básicos

	Electricidad	Agua
Mensual	\$264.216	\$90.000
Semestral	\$1.585.296	\$540.000
Anual	\$3.170.592	\$1.080.000
TOTAL FINAL	\$ 4.250.592 (g)	

<u>TOTAL DE COSTOS MATERIALES</u>			
SEA TOTAL DE COSTOS DE MATERIALES Y REPUESTOS = (d)+(e)+(f)+(g)			
<u>TOTAL HERRAMIENTAS GENERALES</u>	=	\$ 2.291.230	= (d)
<u>TOTAL PROTECCIÓN PERSONAL</u>	=	\$ 1.471.204	= (e)
<u>TOTAL ELEMENTOS FUNGIBLES</u>	=	\$ 3.013.768	= (f)
<u>TOTAL CONSUMOS BÁSICOS</u>	=	\$ 4.250.592	= (g)
<u>TOTAL DE COSTOS MATERIALES</u>			
Tal que (d)+(e)+(f) = \$ 2.291.230 + \$ 1.471.204 + \$ 3.013.768 = <u>\$ 6.776.202 = (h)</u>			

El total de costos directos como resultado del mantenimiento se expresa en la siguiente operación:

<u>TOTAL DE COSTOS DIRECTOS</u>	
SEA	
<u>TOTAL DE COSTOS MANO DE OBRA</u>	= (c) = \$ 48.292.632
<u>TOTAL DE COSTOS MATERIALES</u>	= (h) = \$ 6.776.202
<u>TOTAL DE COSTOS DIRECTOS</u>	= (c) + (h)
TAL QUE	
<u>TOTAL DE COSTOS DIRECTOS</u>	= \$ 48.292.632 + \$ 6.776.202 = <u>\$55.068.834</u>

El total de costos directos en el plan de mantenimiento dirigidos al ascensor funicular resultan en un total de \$55.068.834 considerando un periodo de 1 año.

3.1.3. Registros de Costos Municipio

	ASCENSOR EL PERAL
USO DE ASCENSOR	RESIDENTES Y TURISTAS
PERSONAL	
OPERACIÓN	\$ 3.318.933
MANTENCIÓN	\$ 450.221
ADMINISTRACIÓN	\$ 390.338
VIGILANCIA	\$ 965.222
CONSUMOS BÁSICOS	
ELECTRICIDAD	\$ 264.216
AGUA	\$ 90.000
INTERNET	\$ -
LOCOMOCION Y MANTENCIÓN VEHICULAR	
RENTA VEHÍCULO	\$ 127.780
LUBRICANTE	\$ 15.000
CONSUMOS VARIOS	\$ 30.000
TARIFAS Y RECAUDACIONES	
TARIFAS RESIDENTES	\$ 200
TARIFAS TURISTAS	\$ 200
RECORRIDOS RESIDENTES	19.366
RECORRIDOS TURISTAS	11.821
TOTAL RECORRIDOS	31.187

El registros previo indica la información registrada por el municipio en referencia a los gastos incurridos en el funcionamiento del ascensor durante un periodo de un mes. En el ítem de *Mantencción de Personal*, se estipula un monto de \$450.221, el cual hace alusión al salario de un solo mantenedor. Siendo que el cuerpo de mantenedores lo conforman 7 personas, el Departamento de Obras Públicas ha considerado que el organismo de mantenimiento distribuya su accionar a través de los seis ascensores que conforman el

universo de máquinas operativas, por lo que el total de los 6 salarios restantes se encuentran distribuidos en las tablas de costos de los otros 5 ascensores restantes (Polanco, Reina Victoria, Barón, San Agustín y Artillería).

Los costos de *Personal* que engloban a *Operación* (salarios de maquinistas y cobradores de tarifas), *Administración* (empleados del Departamento Inspección Técnica de Obras, Departamento Administración de Bienes Municipales y Dirección de Gestión Patrimonial) y *Vigilancia* fueron premeditadamente excluidos de la *Aplicación de Gestión de Costos* de la presente tesis con el fin de evocar los análisis y cálculos al área de mantenimiento propiamente tal del ascensor El Peral.

3.2. ANÁLISIS DE VIABILIDAD

Se conoce como análisis de viabilidad al estudio que intenta predecir el eventual éxito o fracaso de un proyecto a partir de una serie de datos bases de naturaleza empírica - factores jurídicos, sociales, financieros, etcétera -, haciendo un énfasis en la viabilidad financiera. Previo a dicha acción es necesario observar si se ha establecido una clara definición de las actividades que se pretenden realizar; dicho caso, la aplicación de un plan de mantenimiento RMC y las tareas que este conlleva. Posterior a esto, un estudio económico financiero que sustente los recursos técnicos y humanos requeridos para el desarrollo de la actividad establecida previamente.

3.2.1. Factor Jurídico

La selección del personal calificado para las acciones de mantenimiento se encuentra dentro del marco legal que establece el decreto supremo n° 57 del Ministerio de Vivienda y Urbanismo de fecha 02 de enero del 2016: *Reglamento del registro nacional de instaladores, mantenedores y certificadores de ascensores, tanto verticales como inclinados o funiculares, montacargas y escaleras o rampas mecánicas*, en el cual el personal que conforma el equipo de trabajo es seleccionado por la directiva del Departamento de Inspección Técnica de Obras perteneciente a la Dirección de Obras Municipales, garantizando así su legitimidad a la hora de la conformación de los grupos de trabajo en la actualidad y a futuro.

3.2.2. Factor Social

La transición desde el mantenimiento correctivo que resulta en la recurrente detención de los servicios de transporte, reducción de la vida útil de los ISED y el alto costo de

reparación hacia el mantenimiento RMC, permite que el servicio ofrecido a la comunidad sea de mayor continuidad, por lo que el fomento de su uso por parte de proyectos patrimoniales del municipio, el incremento de afluencia turística especialmente en el área de Cerro Alegre y la creciente tasa de demográfica en Valparaíso establecida por el Instituto Nacional de Estadísticas - considerando una población de 1.596.000 el año 2.002 a 1.876.115 el año 2.018 - se traduzca en un medio de adquisición de ingresos activos para la municipalidad y claro está, en el bienestar de quienes imperativamente necesitan contar con la disponibilidad de ese medio de transporte el mayor tiempo posible.

3.2.3. Factor Financiero

A causa de que la documentación almacenada por el Departamento de Inspección Técnica de Obras no registra una sistematización objetiva de los gastos incurridos en el área de mantenimiento no solo en El Peral, sino que tampoco en aquellos ascensores bajo la tutela municipal que no han sido considerados dentro de los proyectos de restauración, imposibilita la tarea de generar una comparación directa a nivel financiero del presente proyecto *versus* los desarrollados por el ente municipal. El hecho de que la municipalidad como extensión gubernamental reciba financiación estatal para la ejecución del mantenimiento correctivo, podría llegar a intervenir en la visión que poseen respecto a la importancia de indicadores tales como MTTR o MTBF, pues debido a que como su financiación no depende directamente del servicio en cuestión y de los ingresos que este genere, la importancia de factores tales como la confiabilidad y la disponibilidad se podrían ver amenazadas.

CONCLUSIÓN

Un plan de mantenimiento óptimo está basado en una clara estipulación de las tareas a realizar y en la organización de los recursos con los que se cuenta para llevar a cabo dicha tarea: personal de mantenimiento, herramientas e insumos, capital monetario, etcétera. Todo ello con la finalidad de conseguir la confiabilidad del plan de mantenimiento en cuestión.

En primera instancia, el método AMEF ha sido de vital relevancia para la identificación de las posibles discrepancias a las que los elementos de alta criticidad que conforman el sistema funicular se encuentran propensos, puesto que al contar con un previo espectro de averías, se agiliza la planificación de tareas que el personal de mantenimiento deberá ejecutar, reconociendo con antelación los efectos que dichas discrepancias puedan gatillar en el ascensor. Frente al reconocimiento de las discrepancias, le sigue la acción de mantenimiento *per se*, unificando las recomendaciones dadas por los determinados fabricantes de cada elemento crítico más la consideración de las condiciones de trabajo a las que dichos elementos se encuentran sujetos (salinidad, esfuerzos de tracción, torsión, etcétera), y con cada acción, una determinada cantidad de hora-hombre, estipulando en paralelo el periodo de tiempo recomendado para la aplicación de tareas de inspección y acciones de mantenimiento (semanal, quincenal, mensual, bimestral, trimestral, semestral, anual, a requerimiento), todo esto con el fin último de distribuir de manera organizada y esclarecida el recurso humano con el que se cuenta dentro de las fechas plazo. En este caso, las fechas plazo comprendían un periodo de aproximadamente 15 meses, entre el primero de junio del 2015 y el 9 de septiembre del 2016.

Con la finalidad de que la adquisición de herramientas e insumos no fuesen un impedimento en las labores de mantenimiento, es que se ha descrito un inventario que considera herramientas generales, elementos de protección personal y fungibles, de modo que cada acción de mantenimiento se vea soportada por el pañol de herramientas con el que se dispone, evitando así la interrupción de las labores a causa de la escasez o inexistencia de estos, contribuyendo así a la ergonomía que liga al personal de mantenimiento con los elementos sobre los que se desarrollarán las labores de mantención, y con las herramientas a través de las cuales aplicarán sus aptitudes técnicas.

Mediante el Registro de Costos adquirido a través de la Ilustre Municipalidad de Valparaíso, se ha detectado una subespecificación en los gastos capitales a lo que el mantenimiento compete, puesto que el ítem de “Mantenimiento” solo compromete el salario mensual del mantenedor del ascensor funicular El Peral, excluyendo los gastos incurridos en herramientas e insumos; punto sustancial a la hora del establecimiento de la gestión de costos de cualquier plan de mantenimiento y –¿por qué no decirlo?- de cualquier tipo de proyecto, donde se torna crucial la especificación del gasto monetario al

detalle con el que se incurrirá a la hora de evaluar un proyecto, especialmente si su finalidad es la de contribuir al realce patrimonial de una ciudad emblema: Valparaíso.

RECOMENDACIONES

La posibilidad de optimización del sistema funicular existe, y una de las vastas opciones es la implementación de un sistema de sustentabilidad energética basado en baldosas piezoeléctricas capaces de transformar la energía cinética generada por el flujo peatonal tanto de las estaciones superiores e inferiores como del paseo peatonal Yugoslavo, convirtiéndola así en energía eléctrica para posteriormente ser almacenada en baterías. Las baldosas son fabricadas en Inglaterra por la compañía PAVEGEN, quienes determinan que cada baldosa genera entre 4-8 voltios durante la duración promedio de un paso y están equipadas con un API (Interfaz de Programación de Aplicaciones) inalámbrico que transmite en tiempo real el análisis de datos, siendo este sistema capaz de conectarse a una amplia gama de dispositivos móviles y sistemas de gestión para el control y análisis energético. La energía eléctrica resultante puede utilizarse opcionalmente en:

- Iluminación interna de las cabinas de transporte de pasajeros.
- Iluminación de las estaciones.
- Iluminación de vías de evacuación.
- Iluminación de paneles de advertencia.

Es significativo el desarrollo de un trabajo de título direccionado a la retribución de una de las ciudades más emblemáticas de Chile. Es aquí el meollo del por qué es importante el rescate de este medio de transporte que identifica a Valparaíso no solo a nivel nacional, sino también global.

Claro está, las vías de optimización son copiosas. Sin embargo, que estas sean amigables con el medio ambiente es fundamental y urgente en un periodo predominante en industrialización y *ad portas* de la consumación de las fuentes de combustibles fósiles existentes.

BIBLIOGRAFÍA

ANTEC S.A. Ficha Técnica Turbel Thrustors [en línea]. [s.a.]. [consulta 17 de agosto de 2016, 2 de septiembre de 2016]. Disponible en: <<http://www.antecca.com/>>.

CHILE. Ministerio del Interior. Ley 18.883: aprueba estatuto administrativo para funcionarios municipales [en línea]. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. Santiago, Chile, 29 de diciembre de 1989 [consulta 30 de mayo de 2016].
Disponible en: <<https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=30256>>.

ESTUPIÑAN, Edgar y SAAVEDRA, Pedro. Técnicas de Diagnóstico para el Análisis de Vibraciones de Rodamientos [en línea]. Chile: Universidad de Concepción, 2011 [consulta 4 de julio de 2016]. Disponible en: <<http://www.mantenimientoplanificado.com/>>.

FAG Australia Pty Ltd. Bearing Housings [en línea]. 2001 [consulta 8 de octubre de 2016]. Disponible en: <<http://www.farrellbearings.co.nz/>>.

ILUSTRE Municipalidad de Valparaíso. Organigrama de la Ilustre Municipalidad de Valparaíso [en línea]. [s.a.]. [consulta 26 de enero de 2016].
Disponible en: <<http://www.municipalidaddevalparaiso.cl/organica/or.htm>>.

OSSA, E. A. y PANIAGUA, M. A. Análisis de Falla en Cable de Acero [en línea]. *Ingeniería y Ciencia*, sept. 2005, vol. 1, n° 2, pp 97-103. [consulta 23 de septiembre de 2016]. Disponible en: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=83510207>>.
ISSN 1794-9165.

PAVEGEN System. Energy Harvesting Paver System [en línea]. [s.a.]. [consulta 8 de febrero de 2017]. Disponible en: <www.pavegen.co.uk>.

PINTO, Karina. Estudio a un Medio de Transporte Urbano [en línea]. 23 de mayo de 2011. [consulta 11 de enero de 2016].
Disponible en: <<http://wiki.ead.pucv.cl/images/2/2d/KP.ascensor.valpo.pdf>>.

PRODINSA Ltd. Nomenclatura Cables Acerados Tipo Cobra [en línea]. 2010 [consulta 23 de julio de 2016]. Disponible en: <<http://www.prodinsa.cl/>>.

VERA, Roza, et al. Construcción de Mapas de Corrosión Atmosférica de Chile [en línea]. *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*, 2012, pp. 273-290. [consulta 2 de abril de 2016]. Disponible en: <<http://www.rlmm.org/>>. ISSN 2244-7113.

ANEXOS

Anexo A

1.9.1 Ficha de Inspección

1) ESTACIONES

1.1) Limpieza

Buen estado de conservación de pisos, vidrios, paredes y techos.

1.2) Iluminación

Revisión de sistema eléctrico, cambio de ampolletas en mal estado, interruptores y aislación. Zona de acceso y circulación.

1.3) Pasadas de las estaciones a los carros

Deben mantenerse los niveles correspondientes del piso del carro al llegar a la estación, verificar el normal funcionamiento de las puertas correderas, apertura y cierre, revisar además los seguros.

1.4) Tornos

Deberá revisarse que gire correctamente y el funcionamiento del registrador.

1.5) Extintores

Verificar su carga y fecha de control.

2) CARROS

2.1) Cabina

Se deberá controlar el estado de conservación del piso, las paredes, vidrios y techo. Funcionamiento de las puertas de correderas, mecanismos de apertura y cierre, anclajes eléctricos.

2.2) Chasis

- 2.2.1) Deberá inspeccionarse el estado de conservación de la estructura, corrosión, deformación de vigas, desalineamiento de carro y reapriete de pernos.
- 2.2.2) Comprobar estado de conservación de los pasadores que sujetan los cables.
- 2.2.3) Revisar aprietes de prensas y grilletes.
- 2.2.4) Inspección visual del gancho de seguridad por posibles picaduras, trizaduras, corregir alineamiento con respecto a la cremallera. Debe ser probada la eficiencia del sistema.
- 2.2.5) Ajustar las guías de seguridad para evitar descarrilamientos.
- 2.2.6) Revisar desgastes en el eje y lubricar, corregir juego axial del carro con respecto a la línea.
- 2.2.7) Revisar amortiguadores, estado de conservación de los resortes y lubricar.

3) BASES Y FUNDACIONES DE LA MAQUINARIA

- 3.1) Verificar si los pilares y paredes de sustentación presentan problemas de estabilidad.
- 3.2) En bases, reapretar pernos de anclajes, observar posibles trizaduras producidas por la vibración.
- 3.3) Limpieza, extraer los desechos de lubricantes depositados sobre la maquinaria.
- 3.4) Inspeccionar las vías de accesos, escalas pasillos, etcétera.

4) VÍAS, RIELES, DURMIENTES Y CREMALLERAS

- 4.1) Controlar unión de los rieles, durmientes y paralelismo entre ellos, superficies de contacto con las ruedas, reapriete de pernos, verificar buen estado de conservación de los pasadores.
- 4.2) Limpieza de la vía, desmalezar y sacar restos de lubricantes.
- 4.3) Verificar el buen estado de conservación de la escala de emergencia.

5) CONTROLES

- 5.1) Revisar sujeción de los tableros a las paredes.
- 5.2) Calibración de los instrumentos, amperímetros y voltímetros.
- 5.3) Banco de resistencias debe estar libre de polvo y humedad, reaprete de contactos, revisar la ventilación para evitar sobrecalentamiento.
- 5.4) Revisar interruptores.
- 5.5) Limpieza de contactos en el reóstato, reapriete de los terminales y revisar la tensión de los resortes.

6) INSTALACIÓN ELÉCTRICA

- 6.1) Las puertas de los tableros deben estar protegidos con cerraduras con llave, con el objeto de mantenerlos libre de manipulaciones por parte de personas no idóneas.
- 6.2) Revisar aislación del sistema toma corriente para la iluminación de los carros, comprobar que los carbones se encuentren en buen estado.
- 6.3) Chequear los interruptores termomagnéticos.

- 6.4) Chequear timbre y luz de aviso de despacho.
- 6.5) Mantención eléctrica y mecánica de los contactores.

7) **MOTORES ELÉCTRICOS**

- 7.1) Verificar condiciones de trabajo del motor, voltaje e intensidad de corriente.
- 7.2) Comprobar aislación.
- 7.3) Limpieza de lubricantes esparcidos, polvo, grasa y humedad.
- 7.4) Verificar que el motor se encuentre bien ventilado.
- 7.5) Estado de conservación de los carbones.
- 7.6) Revisar apriete de las bases.
- 7.7) Corregir alineamiento.
- 7.8) Estado de conservación de rodamientos y bujes.
- 7.9) Estado de conservación de sellos y retenes, no deben existir fugas de aceite.
- 7.10) Revisar conexiones eléctricas, protección y apriete de los terminales.

8) **FRENOS**

8.1) **Principal**

- 8.1.1) Revisar superficies de contactos, tambor, balatas, chocos con el objeto de observar posibles deterioros.

8.1.2) Revisar chaveteros, chavetas, abrazaderas, apriete de pernos y revisión de palancas y pasadores.

8.1.3) Verificar centrado de las balatas con respecto al tambor.

8.1.4) Verificar buen estado de la barra de sustentación, pasadores pernos y resortes.

8.2) Auxiliar

8.2.1) Deberá chequearse su funcionamiento continuamente, aun cuando no sea ocupado en el funcionamiento normal del ascensor.

8.2.2) Chequear el estado del contrapeso, articulaciones, tornillos de regulación y chavetas.

8.2.3) Limpieza

9) CABLES DE ACERO

Como primer paso se deberá observar, cada vez que sea posible, todas las partes visibles del cable para detectar su deterioro y deformación en general. Hay que prestar atención particular, en aquellos puntos de cercanía entre el cable y el equipo así como cualquier sospecha sobre un cambio apreciable en la condición del cable.

El uso seguro del cable se califica según el siguiente criterio:

- Naturaleza y cantidad de alambres rotos.
- Alambres rotos en terminales.
- Alambres rotos localizados.
- Incremento en la rotura de alambres rotos.
- Reducción del diámetro del cable como resultante del deterioro del alma.
- Desgaste externo.
- Disminución de la elasticidad.
- Corrosión externa e interna.
- Deformación.
- Daño por calor o arco eléctrico.
- Rango de aumento por elongación.

Las inspecciones deberán considerar todos estos factores, reconociendo criterios en particular, sin embargo, el deterioro puede ser consecuencia de una combinación de factores y acumulación de efectos. Todos estos deberán ser inspeccionados por personal competente, para que decida su descarte o mantención en servicio.

Para todos estos casos, el inspector deberá investigar si el deterioro ha sido causado por efectos de uso; tras obtener la respuesta deberá recomendar una acción para superar el o los defecto antes de poner un nuevo cable.

9.1) Naturaleza y cantidad de alambres rotos

Para el caso del cable de 6 a 8 torones, las roturas de alambres ocurren principalmente en la superficie externa. Esto no es aplicable a los cables que tienen capas de torones (de construcción típica multi-torón) en donde la mayor parte de las roturas de alambre suceden internamente y por lo tanto son fracturas no visibles. Al establecer criterios de rechazo para los cables de resistencia-rotación, las consideraciones se basan en la construcción del cable, tiempo del servicio y forma en que se está usando. Los antecedentes por la cantidad de alambres rotos visibles permitirán aumentar el criterio de rechazo. Se deberá atender particularmente en caso de cualquier área que muestre sequedad y falta de lubricación.

9.1.1) Alambres de relleno (*filler*)

No están considerados para soportar cargas, por lo tanto, están excluidos de esta inspección. En cables con más de una capa de torones, hay que considerar solamente los torones externos visibles. En cables con alma de acero deberán observarse internamente.

9.1.2) El número visible de alambres rotos, no debe exceder lo indicado en la tabla de la norma. Si la categoría del cable lo iguala o excede, deberá descartarse.

9.1.3) Un alambre roto puede tener dos puntas visibles.

9.2) Alambres rotos en terminales

Uno o más alambres rotos adyacentes a un terminal, son indicadores de concentración de vibración o por causa de una incorrecta posición del Terminal. Si se logra determinar la causa de la rotura, es posible cambiar la

posición del terminal, siempre y cuando el nuevo largo permita su uso. Si no es posible determinar la causa de la rotura, el cable deberá eliminarse.

9.3) Alambres rotos localizados

Si la rotura de alambres se encuentra muy cercana, se debe a una localización grupal, por lo que éste cable deberá ser desechado. Si el grupo de roturas ocurre en un largo menor a seis o se concentra en un sólo torón, será prudente desear el cable, aun cuando la cantidad de alambre roto sea inferior al máximo indicado.

9.4) Incremento en la rotura de alambres

En las aplicaciones donde la causa predominante del deterioro es la fatiga, el comienzo de la rotura sucederá en un cierto período de uso, pero el número de roturas irá aumentando progresivamente en intervalos cortos. En estos casos, se recomienda aumentar la frecuencia de inspección y mantener un registro del incremento de alambres rotos, con el fin de aplicar la tabla con el número de alambres rotos permitidos.

9.5) Rotura de torones

Si ocurre una rotura de torón, el cable deberá ser desechado.

9.6) Reducción de diámetro de cable resultando del deterioro del alma

9.6.1) Desgaste interno.

9.6.2) Desgaste interno causado por fricción entre los torones y los alambres del cable, en especial si está expuesto a flexiones.

9.6.3) Deterioro del alma de fibra.

9.6.4) Rotura del alma de acero.

9.6.5) Rotura interna en construcciones multi-torones (resistentes a la rotación).

Si estos factores causan una disminución del diámetro del cable (mediciones a 90°) al 3% del diámetro nominal, para los cables resistentes a la rotación o un

10% para otros cables, éstos deberán ser desechados, aun cuando no tengan roturas de alambre visibles.

NOTA: Los cables nuevos pueden tener un diámetro real mayor que el nominal, por lo que el desgaste permitido se considerará respecto a ese diámetro real. Un deterioro pequeño no será apreciable en una inspección, particularmente cuando el cable está tensado y todos sus torones equilibrados. Sin embargo, ésta sospecha de deterioro interno deberá ser verificada mediante procedimientos de inspección interna (ensayos no destructivos). Si se confirma el deterioro, el cable deberá ser reemplazado.

9.7) Desgaste externo

La abrasión en las coronas de los alambres exteriores de un torón del cable, es la resultante del contacto por roce bajo tensión en los canales de las poleas y/o tambores. Esta condición es particularmente evidente en caso que los cables se mueven en el punto de contacto de la polea, o cuando las cargas comienzan a acelerar o desacelerar mostrando un desgaste plano en los alambres exteriores. El desgaste es provocado por una lubricación incorrecta o también por la presencia de polvo o arenilla. Este reduce la resistencia del cable por reducción del área metálica del cable. Cuando el desgaste externo del diámetro real del cable ha disminuido en un 7% o más del diámetro nominal, el cable debe ser desechado aunque no tenga alambres rotos visibles.

9.8) Disminución de la elasticidad

Bajo algunas circunstancias, generalmente asociadas al ambiente del trabajo, un cable podría llegar a tener una disminución sustancial de elasticidad, por lo que no sería de uso seguro. La disminución de la elasticidad es difícil de detectar (en caso de dudas del inspector, éste deberá conseguir asesoría de un especialista en cables), no obstante se puede asociar con lo siguiente:

9.8.1) Reducción del diámetro del cable.

9.8.2) Elongación del largo del paso del cable.

9.8.3) Pérdida del claro entre torones (*gap*), causada por la compresión de las partes componentes (unas contra otras).

9.8.4) Aparición de polvo fino café rojizo entre los torones.

Aunque las roturas de alambre no sean visibles, estas sí muestran rigidez en su uso, por lo que el cable presentará una reducción de su diámetro original producto del desgaste de los alambres individuales. Esta condición puede llevar a una falla abrupta bajo carga dinámica, lo que justificará el desecho inmediato del cable.

9.9) Corrosión externa e interna

La corrosión ocurre particularmente en lugares industriales contaminados y bahías, lo que no solamente disminuye su resistencia a la ruptura por reducción del área metálica del cable, sino que además acelera la producción de fatiga, originando una superficie irregular por donde comenzará la quebradura de los alambres del cable. Una corrosión severa puede hacer disminuir la elasticidad del cable.

9.10) Corrosión externa

Esta puede ser detectada visualmente.

9.11) Corrosión interna

Esta condición es más difícil de detectar que la corrosión externa, pero sí es posible reconocer lo siguiente:

9.11.1) Variación en el diámetro del cable en posiciones en la cual éste está doblado alrededor de una polea normalmente se presenta una reducción del diámetro. Sin embargo en cables que se mantienen estacionarios es frecuente encontrar un aumento en el diámetro del cable producto de la formación de óxido bajo la capa de torones externos.

9.11.2) Pérdida del claro (*gap*) entre los torones externos del cable, combinado frecuentemente con la ruptura de alambres entre torones. Si se sospecha de una corrosión interna del cable, éste deberá someterse a una inspección. Si se confirma la corrosión interna del cable, esta será causa justificada para desecharlo.

9.12) Deformación

Una distorsión visible de la formación original del cable se llama “deformación”, la cual crea un desequilibrio en la distribución de tensión entre los torones del cable. De acuerdo al aspecto de la deformación, se pueden clasificar en:

9.12.1) Ondulación

La ondulación es la deformación donde el eje longitudinal del cable toma la forma de espiral o hélice. No se producirá necesariamente una disminución en la fuerza del cable, sin embargo si esta deformación es severa, podría transmitir pulsaciones que resulten en una conducción irregular del cable. Después del uso prolongado del cable, los alambres se desgastarán con su consecuente quiebre. Con deformación severa el cable debe ser cambiado.

9.12.2) Distorsión en cesto (*basket*)

Esta distorsión generalmente ocurre en cables con alma de acero, en donde la capa externa de los torones ha cambiado de posición, o cuando la capa externa llega a ser más larga que la interna. Esta condición se presenta como resultado de una carga abrupta (tirón) en un cable en reposo. En caso de deformación en cesto (*basket*), éste deberá ser reemplazado.

9.12.3) Salida del Torón

Esta característica del cable está frecuentemente asociada a la deformación en cesto donde el desequilibrio del cable está dado por la salida del alma. Una salida del torón justifica el reemplazo el cable.

9.12.4) Salida del alambre

En esta condición, algunos alambres o grupos de alambres se levantan formando nudos al lado opuesto de su apoyo en la ranura de la polea. Esta situación se presenta generalmente como resultado de una carga brusca (tirón).

Si la deformación es severa, el cable deberá ser reemplazado.

9.12.5) Aumento local del diámetro del cable

Puede ocurrir un aumento en el diámetro del cable en cuyo caso afectará la longitud del cable. Esta condición generalmente se relaciona con una distorsión del alma (en ciertos ambientes, el alma de fibra puede engrosarse por efecto de la humedad), lo que genera como consecuencia un desequilibrio en los torones externos, los cuales quedan deformados. La gravedad de esta situación justificará el reemplazo del cable.

9.12.6) Partes aplanadas

Las partes aplanadas ocurren como el resultado de un daño mecánico; si es severo, se justifica el reemplazo del cable.

9.12.7) Torceduras o nudos

Una coca (*loop*) o nudo es una deformación creada en el cable producto de la creación de una rotación sobre su propio eje (torque). Se produce un desequilibrio en el largo del paso, el cual produce excesivo desgaste, en cuyos casos más severos el cable estará tan deformado que disminuirá su resistencia. Una coca o nudo en el cable justifica su reemplazo.

9.12.8) Dobleces

Los dobleces son una deformación angular causada por efectos externos.