UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

DEPARTAMENTO DE MECÁNICA

SANTIAGO – CHILE

24/08/2017

"DESARROLLO DE LAS BASES DE UN MODELO DE MANTENIMIENTO APLICADO A SISTEMA DE TRANSPORTE POR CABLE TIPO TELEFÉRICO EN CHILE."

LUCAS ANTONIO MEYER FLORES

MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL MECÁNICO MENCIÓN ENERGÍA.

PROFESOR GUIA: NELSON ALVAREZ C.
PROFESOR CO-REFERENTE: LUIZ GUZMAN B.

Agosto – 2017

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Teleférico de Santiago por darme la oportunidad de realizar mi memoria en un icono de nuestra ciudad y a su personal por siempre tener disposición de enseñarme y compartir su experiencia y conocimiento.

Agradezco a profesores que me formaron académicamente, especialmente aquellos que lo hicieron con pasión y con un propósito, justamente, más allá de lo académico.

Agradezco a mis amigos con los que disfrute compartir esta etapa universitaria, entre risas y estudio.

Agradezco a mi familia por su amor incondicional.

DEDICATORIA

A mi familia

Somos lo que hacemos día a día,

de modo que la excelencia no es un acto,

sino, un hábito.

Aristóteles

RESUMEN

En el presente trabajo de Memoria de Titulación desarrolla una propuesta de un Modelo de Mantención a aplicar en transporte por cable tipo Teleférico destino a personas. Se desarrolla conforme a las normas europeas vigentes UNE-EN 1709: Examen previo a la Puesta en Servicio, Mantenimiento y Controles de Operación y UNE-EN 12408: Aseguramiento de la Calidad.

La propuesta de Modelo de Mantenimiento se basa en la utilización de herramientas de Ingeniería de Mantenimiento, Calidad y Mejoramiento Continuo con el fin de desarrollar procesos que sean consistentes en cuanto el avance hacia los objetivos que se plantean en mantenimiento como también el cumplimiento de las normas.

Dichas herramientas Ingeniería de Mantenimiento, Calidad y Mejoramiento Continuo se principalmente para otorgar un mayor y mejor conocimiento del funcionamiento del Teleférico en su contexto operacional, esencial para que el Modelo sea capaz de anticiparse a la falla, controlar los riesgos y trabajar eficientemente.

La principal motivación al desarrollar este trabajo es la re-apertura de Teleférico de Santiago, el cual carece de un Modelo de Mantenimiento y también la nueva licitación para la construcción de Teleférico Bicentenario, los cuales ambos dejen regirse bajo la norma europea vigente mencionada.

Palabras Clave: Teleférico, Mantenimiento, Mejoramiento Continuo, Normas UNE-EN.

ABSTRACT

In the present thesis work develops a proposal of a Maintenance Model to be applied in a cable car transport type ropeway destiny to people. It is developed in accordance with current European Norms UNE-EN 1709: Pre-commissioning, Maintenance and Operation Controls and UNE-EN 12408: Quality Assurance.

The Maintenance Model proposal is based on the use of Engineering Maintenance, Quality and Continuous Improvement tools in order to develop the processes that are consistent in the progress towards the objectives that are raised in maintenance as well as the fulfillment of the European norms.

These tools are used to provide greater and better knowledge of the operation of the cable car in its operational context, essential for the Model Maintenance to be capable of anticipating to the failure, control the risks and work in efficient way.

The main motivation to develop this work is the re-opening of Santiago Cable Car located in Metropolitan Park, which lacks a Maintenance Model and also the new public tender for the construction of Bicentenario Cable Car, both of which left under the current European norm mentioned.

Keywords: Cable Car, Maintenance, Continuous Improvement, UNE-EN Norms.

GLOSARO DE TÉRMINOS

ACR: Análisis de Causa Raíz

CP: Corto Plazo

Cp: Índices de Capacidad

Cpi: Índice de Capacidad Inferior

Cps: Índice de Capacidad Superior

EPI: Equipo de Protección Individual.

FMECA: Failure Mode and Effects and Criticality Analysis.

LCI: Limite Central Inferior

LCS: Limite Central Superior

LP: Largo Plazo

MP: Mantenimiento Preventivo

MC: Mantenimiento Correctivo

MTTR: Mean Time To Repair

PND: Pruebas No Destructivas

RCA: Root Cause Analysis.

UNE – EN: Une Norma Española – European Norm

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS ..... **i**
DEDICATORIA ..... **ii**
RESUMEN ..... **iii**
ABSTRACT ..... **iv**
GLOSARO DE TÉRMINOS ..... **v**
ÍNDICE ..... **vi**
ÍNDICE DE FIGURAS ..... **ix**
ÍNDICE DE TABLAS ..... **xi**
1. Introducción **1**
2. Objetivos **2**
2.1. Objetivo General 2
2.2. Objetivos Específicos 2
3. Marco Teórico **3**
3.1. Importancia de un Modelo de Gestión del Mantenimiento. 3
3.2. Estrategias y Objetivos en el Mantenimiento de un Teleférico. 7
3.3. Definición de Criterios de Mantenimiento 9
3.3.1 Criterio de Criticidad 9
3.3.2 Criterio de Confiabilidad Operacional 9
3.3.3 Criterio de Mantenibilidad 10
3.3.4 Criterio de Disponibilidad 11
3.4. Herramientas del Mantenimiento, Calidad y Mejoramiento Continuo. 12
3.4.1 Matriz de Criticidad 12
3.4.2 Análisis de Causa Raíz (ACR) 14
3.4.3 Análisis de Modos de Falla, Efectos y Criticidad 15
3.4.4 Diagrama Causa-Efecto 18
3.4.5 Índice de Capacidad 19
3.4.6 Cartas de Control 20
3.4.7 Mapeo de Procesos 20
3.4.8 Ciclo DMAIC 21

3.5. Costos del Mantenimiento. 22
3.5.1 Relación a Actividades de Mantenimiento..... 23
3.5.2 Relación a Perdidas por Ineficiencia 24
3.5.3 Según Tipo de Mantenimiento 24
3.5.4 Inversión..... 25
3.6. Teleféricos..... 27
3.7. Levantamiento Sistemas de un Teleférico. 28
3.7.1 Vehículos..... 28
3.7.2 Grupo Motor..... 33
3.7.3 Cable Portador-Tractor y Pinzas..... 35
3.7.4 Dispositivos Mecánicos. 38
4. Discusión de Resultados 42
4.1. Normas y Estrategia..... 42
4.1.1 UNE-EN 1709: Examen previo a la Puesta en Servicio, Mantenimiento y Controles de Operación. 42
4.1.2 UNE-EN 12408: Aseguramiento de la Calidad 45
4.1.3 Estrategia de Mantenimiento..... 46
4.2. Componentes Críticos de un Teleférico y Ensayos No Destructivos..... 49
4.3. Monitoreo en Operación y Control de Componentes. 52
4.4. FMECA y Diagramas de Ishikawa. 56
4.5 Repuestos Críticos y Almacenamiento. 59
4.6 Planificación y Programación de Actividades de Mantenimiento en un Teleférico. 61
4.7 Ejecución de Mantenimiento y relación con Operaciones..... 65
4.8. Relación Mantenimiento y Finanzas 68
4.9. Principales Indicadores de Mantenimiento..... 69
4.10. Valor Humano y Comunicación. 70
4.11. Modelo Base de Mantenimiento en un Teleférico. 72
5. Conclusiones 76
6. Bibliografía 78
ANEXOS 79
Anexo 1. 79
Tabla de Normas Europeas para el Mantenimiento y Seguridad en Transporte por Cable 79

Anexo 2. 79
Tabla de Seguimiento de Reductor (Extracto)..... 79
Anexo 3. 81
Cartas de Control de Comportamiento de Funciones de Componentes Críticos..... 81
Anexo 4. 87
Repuestos Críticos..... 87

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Principales departamentos de un Modelo de Negocios de un Teleférico. 4
Figura 2: Flujo de Variables en Mantenimiento. 5
Figura 3: Contexto de un Modelo Estratégico de Mantenimiento 6
Figura 4: Principales estrategias de mantenimiento y enfoques. 8
Figura 5: Pilares de Confiabilidad Operacional 10
Figura 6: Secuencia de esquemática de un FMECA 17
Figura 7: Diagrama de Causa-Efecto con metodología de 6M. 18
Figura 8: Proceso de Mejoramiento Continuo DMAIC. 21
Figura 9:Costos de Mantenimiento según causa. 22
Figura 10: Costos de Mantenimiento según estrategia. 25
Figura 11: Costos de Mantenimiento en el tiempo según Inversión. 26
Figura 12: Relación entre Inversión y Costos de Ineficiencia con Costos Totales. 27
Figura 13: Conexión entre cabina y brazo de suspensión. 29
Figura 14: Mecanismo Externo de Control de Puertas. 30
Figura 15: Mecanismo Interno de Control de Puertas. 30
Figura 16: Vehículo de Mantenimiento 31
Figura 17: Vehiculo Porta Bicicletas. 32
Figura 18: Suspensión de Cabina. 32
Figura 19: Punto externo de amarre de socorro. 33
Figura 20: Punto interno de amarre de socorro. 33
Figura 21: Configuración de Equipo Motor y Freno. 35
Figura 22: Pinza Desembragable 37
Figura 23: Balancín de 8 poleas en soporte. 38
Figura 24: Lineamientos Norma UNE-EN 1709 46
Figura 25: Lineamientos Norma UNE-EN 12408 47
Figura 26: Estrategias de Mantenimiento en Teleféricos a partir de Normas UNE-EN. 48
Figura 27: Comportamiento de Temperatura en Reductor en el tiempo. 53
Figura 28: Comportamiento de tensión de alimentación variador. 54
Figura 29: Comportamiento temperatura variador en el tiempo. 54
Figura 30: Valores de tensión media de Cable-Tractor en el tiempo. 54

Figura 31: Comportamiento pesaje de pinzas en el tiempo..... 55
Figura 32: Diagrama de Causa-Efecto con las 6M de Monitoreo de Condiciones. 57
Figura 33: Planteamiento de Objetivos y Principios de Actividades..... 62
Figura 34: Esquema de Planificación de Mantenimiento y Elaboración de Procedimientos..... 64
Figura 35: Análisis de Backlogs. 65
Figura 36: Proceso de Ejecución y Control. 67
Figura 37: Equilibrio Mantenimiento-Costo 68
Figura 38: Elementos del Valor Humano. 71
Figura 39: Esquema General Modelo de Mantenimiento Propuesto 75
Figura 40: Comportamiento de Temperatura en Reductor en el tiempo. 81
Figura 41: Variación de Torque en Reductor. 81
Figura 42: Comportamiento de tensión de alimentación en variador. 82
Figura 43: Tensión de Variador. 82
Figura 44: Velocidad en rpm de Variador. 83
Figura 45: Intensidad de Corriente de Variador 83
Figura 46:Diferencia potencial del Rotor 83
Figura 47: Potencia de Variador 83
Figura 48: Comportamiento temperatura variador en el tiempo. 84
Figura 49: Valores de tensión media de Cable-Tractor en Ascenso. 84
Figura 50: Valores de tensión media de Cable-Tractor en Descenso. 84
Figura 51: Valores de tensión media de Cable-Tractor en el tiempo. 85
Figura 52: Voltaje de Batería ubicada en Estación motriz. 85
Figura 53: Voltaje de Batería ubicada en Estación intermedia 85
Figura 54: Voltaje de Batería ubicada en Estación Retorno. 86
Figura 55: Comportamiento pesaje de pinzas en el tiempo..... 86

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Factores de Mantenibilidad 11
Tabla 2: Puntaje asignado para Frecuencia de Falla 13
Tabla 3: Puntaje asignado para Impacto Operacional 13
Tabla 4: Puntaje asignado a Flexibilidad Operacional 13
Tabla 5: Puntaje asignado a Seguridad y Medio Ambiente 13
Tabla 6: Puntaje asignado a Costos. 14
Tabla 7: Tabla de Ponderación de Criticidad. 14
Tabla 8: Interpretación índice Cp, Cps y Cpi 19
Tabla 9: Criticidad de Componentes de por sub-sistemas. 49
Tabla 10: Ensayos No Destructivos 51
Tabla 11: Mediciones Panel de Control Teleférico 52
Tabla 12: Valores Índices de Capacidad de componentes en seguimiento. 56
Tabla 13: FMECA de Correas Transportadoras. 56
Tabla 14: Requerimientos de Almacenamiento 59
Tabla 15: Repuestos Críticos (extracto) 60
Tabla 16: Principales Indicadores Propuestos 70
Tabla 17: Normas Europeas para mantenimiento y seguridad en Transporte por Cable destinado a personas. 79
Tabla 18: Extracto de Tabla de Mediciones Panel de Control 79
Tabla 19: Repuestos Críticos (Tabla Completa) 87

1. Introducción

En el año 2009, en plena operación del sistema, el antiguo Teleférico de Santiago se detiene inesperadamente con pasajeros al interior de sus cabinas. Posteriormente, se establece que la causa del accidente es debido a una falla en el reductor de velocidades por sobrecalentamiento. Como consecuencia de este accidente y otro anteriormente el año 2008 donde 20 personas se quedaron atrapadas arriba en las cabinas debido a una rotura de una polea en una torre, el Teleférico de Santiago es cerrado indefinidamente dejado así sin una de las principales atracciones es turísticas al Parque Metropolitano. Ambos accidentes se produjeron debido a una no correcta mantención del sistema.

En el año 2016, se re-inaugura el Teleférico de Santiago a cargo de las empresas Turistik S.A, la cual se adjudica la licitación en una doble instancia ya que el primer concurso fue declarado desierto por falta de cumplimiento de requisitos en sus bases por parte de los concursantes. Luego de un par de meses abierto a publico Turistik S.A contrata gente con experiencia en transporte por cable y crea la empresa Transcable S.A para que se ocupe de la Operación y Mantención. Al ser esta última empresa tan reciente tiene una carencia de un Modelo de Mantenimiento.

El alcance de esta memoria es el apoyo para la creación de una propuesta de bases de un Modelo de Mantenimiento aplicable a Teleférico y conforme a la normativa vigente europea UNE-EN la cual se debe regir el Teleférico.

Por otro lado, se tiene que en el presente año (2017) se abrió un nuevo concurso para la licitación del Teleférico Bicentenario a construirse el año 2022, el cual también tiene que trabajar conforme a la normativa europea UNE-EN, por lo que se espera que este trabajo sea un aporte para el futuro mantenimiento tanto para el Teleférico de Santiago como el Teleférico Bicentenario.

2. Objetivos

2.1. Objetivo General

En este trabajo, se desarrolla las bases de un modelo base de mantenimiento para aplicar a un sistema de transporte por Cable tipo Teleférico. Este modelo tiene como fin establecer los procesos y las métricas para realizar de manera efectiva el mantenimiento en un Teleférico. Tomando en consideración tanto su planificación, ejecución y control como su relación con los departamentos de Operación y Finanzas. Este trabajo se realiza en base a la reglamentación y normativa europea vigente UNE-EN.

2.2. Objetivos Específicos

- Realizar un levantamiento de sub-sistemas y componentes críticos de un Teleférico como también distinguir cuales de estos componentes críticos se les puede hacer seguimiento en el tiempo y analizar su control y variabilidad.
- Investigar y definir estrategias, políticas y normas que deben regir en el mantenimiento de un Teleférico.
- Identificar y describir procesos principales que son necesarios en el mantenimiento de un Teleférico tales como Planificación, Ejecución y Almacenamiento, ente otros y sus métricas más importantes en cada una de estas.
- Analizar relación del mantenimiento con Operaciones y su flujo de información como también relación con Finanzas y determinar principales costos a corto y largo plazo.
- Determinar herramientas de Mejoramiento Continuo para que modelo sea estable en el tiempo, se controle y se mejore.
- Generar bases de un Modelo de Mantenimiento para un Teleférico.

3. Marco Teórico

La siguiente memoria está enfocada en desarrollar un Modelo Base de Mantenimiento Estratégico para ser utilizado en un Teleférico con el fin de establecer sus ejes y métricas principales que permitan gestionar eficientemente sus recursos, hacer una planificación adecuada a las criticidades y que sea sostenible en el tiempo. En la actualidad, en Chile no existe alguna estructura de trabajo (solo de manera intuitiva) en el área de mantenimiento, por lo que primero corresponde destacar la importancia que tiene tener una filosofía o Modelo de Gestión de Mantenimiento con que se rija el trabajo que se realiza.

3.1. Importancia de un Modelo de Gestión del Mantenimiento.

Hoy en día, el rol del mantenimiento en las empresas que poseen activos físicos ha ido tomando un gran valor dentro de lo que es la mirada global de negocios de las empresas, siendo ya no considerado como un 'mal necesario' donde se trabaja de manera reactiva, intuitiva y con una mirada a corto plazo sino que es tomado como un factor de rentabilidad y seguridad la cual permite a las empresas que tienen una mirada a largo plazo y en consideración la vida útil de sus activos físicos que su producción aumente o su servicio sea de mayor calidad, como es el caso de un Teleférico, de una manera eficiente como también permite que se cree un ambiente seguro y de menor riesgo tanto para sus trabajadores, activos físicos y pasajeros en un Teleférico.

Como es sabido, cada empresa tiene su propia misión y visión a futuro y por ende cada una tiene su propia estrategia de negocio para llegar a cumplir tanto sus metas productivas y de rentabilidad, el mantenimiento como parte de cada empresa no debe estar alejada a esta filosofía sino más bien debe estar enfocada y alineada a los objetivos de las empresas y trabajar en post de cumplirlas eficientemente. Dicho esto, el mantenimiento juega un rol clave en lo que es la calidad de la producción o del servicio que presta la empresa, ya que una adecuada y oportuna mantención es necesaria para que la Operación no se vea perjudicada y no se salga de los parámetros o rangos establecidos por la empresa, es por esto que el mantenimiento no debe ser visto como un factor aislado a los objetivos de las empresas, sino que debe ser visto como un factor indispensable para llegar a cumplirlas.

Es por esto que una de las tareas que tiene el mantenimiento en cada empresa es que debe tener la capacidad de integrarse a los alineamientos de la empresa de tal manera que entregue beneficios y

no perdidas (dinero, de calidad, accidentes, etc.) y se relacione eficientemente con los demás departamentos de la empresa como lo son Operaciones y Finanzas los más comunes. En consecuencia, se puede decir que para lograr una productividad esperada o prestar un servicio con parámetros establecidos es necesario tener una buena gestión tanto para Operaciones como para Mantenimiento, ambas sujetas a estrictas normas de Seguridad y con buenos hábitos por parte de sus trabajadores. En la *Figura 1* se observan los principales departamentos que existen en un Teleférico:

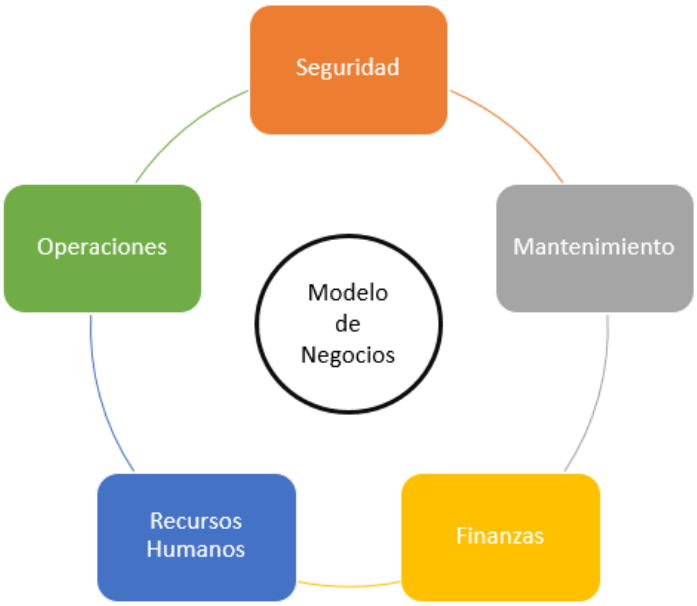

Figura 1: Principales departamentos de un Modelo de Negocios de un Teleférico.

Además, al poseer un Modelo de Gestión del Mantenimiento le permite a la empresa tener una **estructura de trabajo** en la cual cada actividad de mantenimiento (sea mantención de activos físicos, compras de insumos, cambio de proveedores o de materiales, aumento o disminución de personal etc.) sea debidamente justificada técnicamente y económicamente respondiendo las preguntas *'' ¿Por qué? ''* y *'' ¿Para qué? ''*, de tal manera que satisfaga una causa y a su vez genere una consecuencia positiva en la dirección de los objetivos planteados y no sean acciones que no generen valor. Es por esto, que para responder estas preguntas para cada actividad de mantenimiento correctamente, es decir, en dirección al objetivo el cual se quiere cumplir, es necesario ver el mantenimiento como un **proceso** que sea capaz de hacer entender las necesidades particulares de cada empresa en el mantenimiento y poder satisfacerlas de la manera más

eficientemente posible. Al tener una estructura de trabajo, se logra tener una mirada más holística en cuanto la posición y jerarquización que se tiene en la actualidad y que debe tener el mantenimiento en una empresa a futuro, por lo tanto, se tiene mayor claridad de los recursos que se deben invertir en mantenimiento para que entregue los beneficios óptimos para la empresa.

Como en todo proceso, en el mantenimiento existen variables entrantes que se deben ir midiendo, controlando y mejorando a lo largo de todo el proceso de mantenimiento a largo plazo para que las variables salientes sean satisfactorias, por lo que es primordial tener la capacidad de saber identificar estas variables (entrantes y salientes) y cuantificar la relevancia que tienen estas variables para el mantenimiento para generar un adecuado Modelo de Gestión del Mantenimiento en la empresa. En la *Figura 2*, se puede observar las variables más comunes dentro del mantenimiento en las empresas:

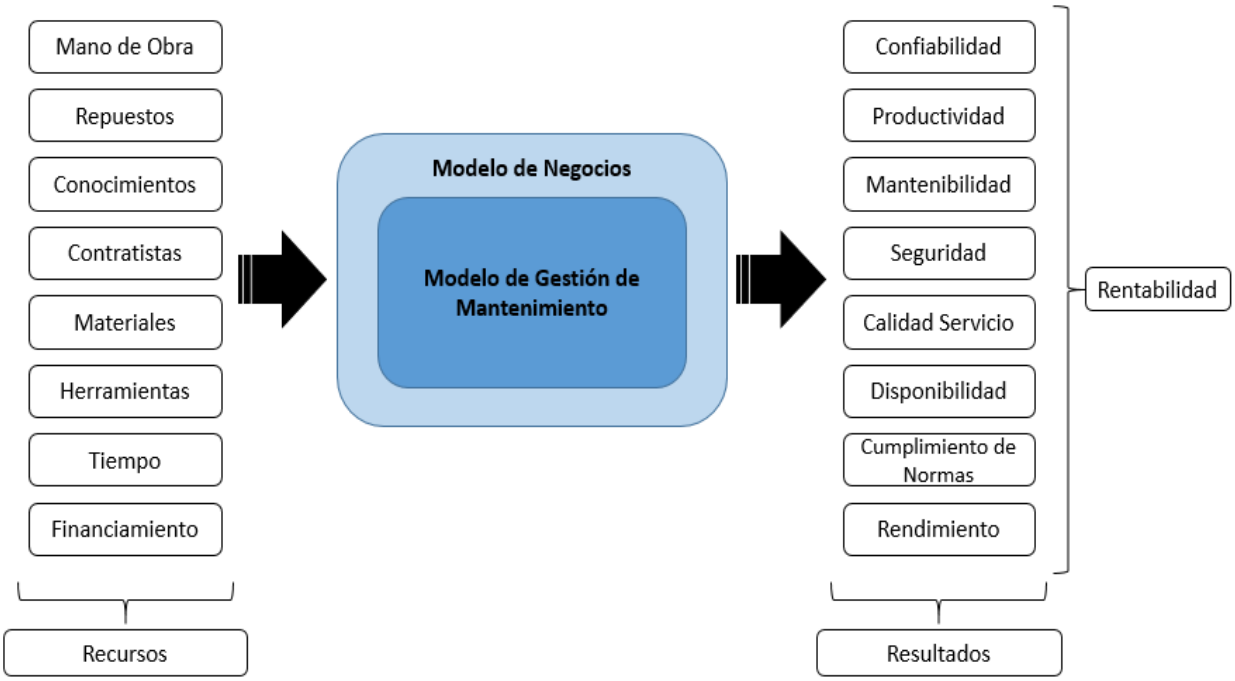

Figura 2: Flujo de Variables en Mantenimiento.

Finalmente, al regirse por un Modelo de Gestión de Mantenimiento la empresa obtiene una identidad y filosofía propia que le permite trabajar para llegar a los objetivos planteados, generando así una imagen hacia actores relevantes para el negocio y la empresa como lo pueden ser inversores, reguladores (como Estado en el caso de Teleférico para Transporte Publico), turistas y pasajeros. Sin embargo, el fin de tener una identidad propia de trabajo radica en poder administrar y gestionar el mantenimiento de manera que se ajuste a las necesidades y recursos propios de la empresa y así

facilitar o tener mayor claridad para lograr los objetivos. A continuación, en la *Figura 3* se puede ver una justificación de implantar Un Modelo de Gestión de Mantenimiento enfocado en medir los procesos del mantenimiento con el fin de controlar y disminuir los riesgos y los costos globales a largo plazo:

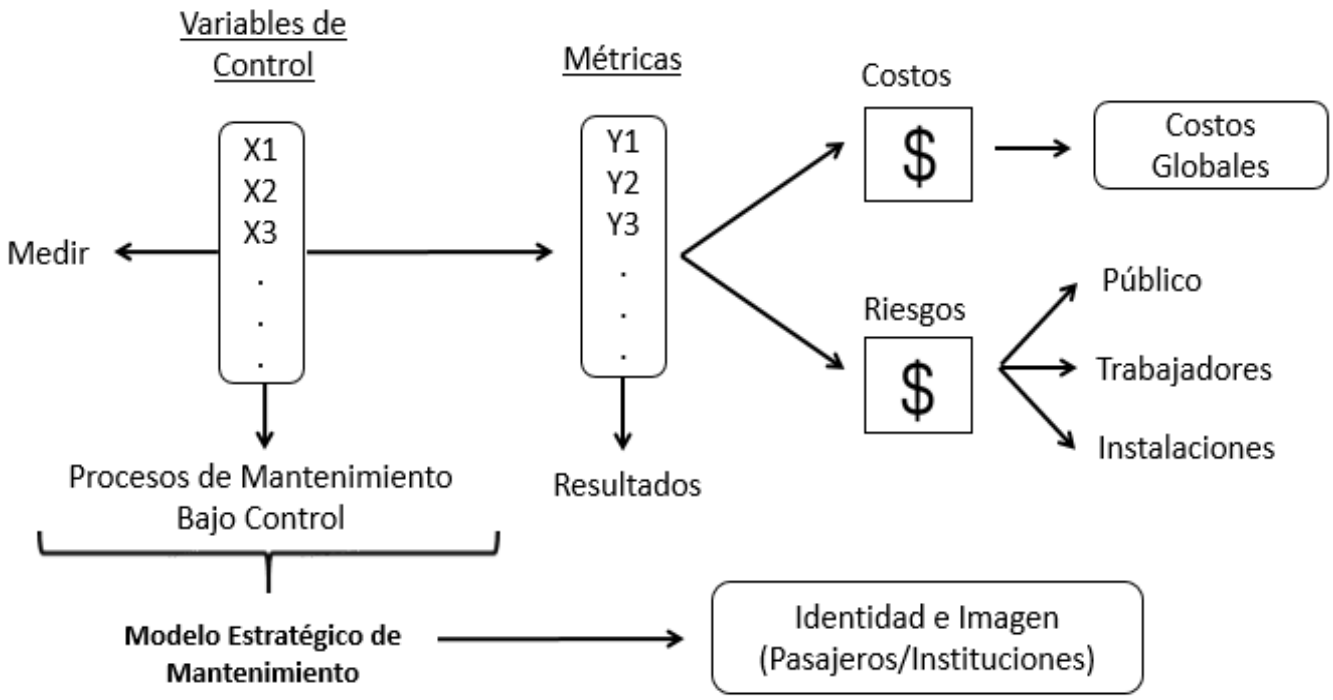

Figura 3: Contexto de un Modelo Estratégico de Mantenimiento

Es importante mencionar que para que un buen Modelo de Gestión del Mantenimiento, sea un buen Modelo de Gestión de Mantenimiento para el departamento de mantenimiento de una empresa en particular es imperativo saber el contexto operacional de los activos físicos, cuáles variables medir y controlar y por último cuales resultados evaluar. Sin embargo, para saber estas cuestiones, primero se requiere saber cuáles son los estándares mínimos que deben regir en el mantenimiento de un Teleférico, establecidas por Políticas y Normas Internacionales.

Esta Memoria se basará en la Reglamentación y Norma Europea vigente a la fecha, las Norma UNE – EN (Une Norma Española – European Norm), facilitadas por Teleférico de Santiago.

3.2. Estrategias y Objetivos en el Mantenimiento de un Teleférico.

Antes de definir objetivo y estrategias por parte del departamento de Mantenimiento de un Teleférico, este se debe a justar a la reglamentación y normativa internacional en cuanto se refiera a la mantención y seguridad de los sistemas y componentes. Es importante señalar que ninguna normativa internacional establece que se debe implementar un Modelo de Gestión de Mantenimiento en particular, sino más bien establece directrices de lo que se debe hacer para mantener un Teleférico en cuanto a requisitos mínimos. Queda a criterio de la empresa como se gestionan los recursos, como se administra la información y como se lleva a cabo lo que exigen las normas internacionales. Un Modelo de Gestión de Mantenimiento debe tratarse como una herramienta clave del modelo de negocios de la empresa que cumple las normas internacionales de manera eficiente, relacionándose de manera fluida con Operaciones y Finanzas y estar alineada con los objetivos de la empresa. Este trabajo de memoria se basa en la Norma Europea UNE-EN (Versión Española 2006) en lo que se respecta al Mantenimiento y Seguridad de Transporte por Cable tipo Teleférico. En Anexo 11.1 se puede ver las normas específicas que se utilizaron de guía y apoyo en esta memoria.

Para saber qué objetivos se deben cumplir y que estrategia utilizar es necesario saber ciertas directrices que establecen dichas normas europeas. Esto dependerá en el enfoque que estas normas tienen para optar a qué estrategia de Mantenimiento implementar. Dentro de las cuales se pueden encontrar cuatro grandes estrategias, las que se pueden ver en la Figura 4. Es necesario mencionar que estas no son excluyentes una de la otra, sino más bien son complementarias entre sí, y dependerá del grado con que se consideren otros factores tales como Riesgo, Criticidades y Costos en cómo se complementan. Por ejemplo, se puede tener una estrategia de mantenimiento preventiva pero posiblemente optar o no a realizar monitoreo de condiciones o llegar a la falla en ciertos componentes, la decisión final dependerá posiblemente del riesgo o de los costos que estas acciones conllevan.

A continuación, se muestran y se describen brevemente las cuatro principales estrategias de mantenimiento que existen con sus principales características:

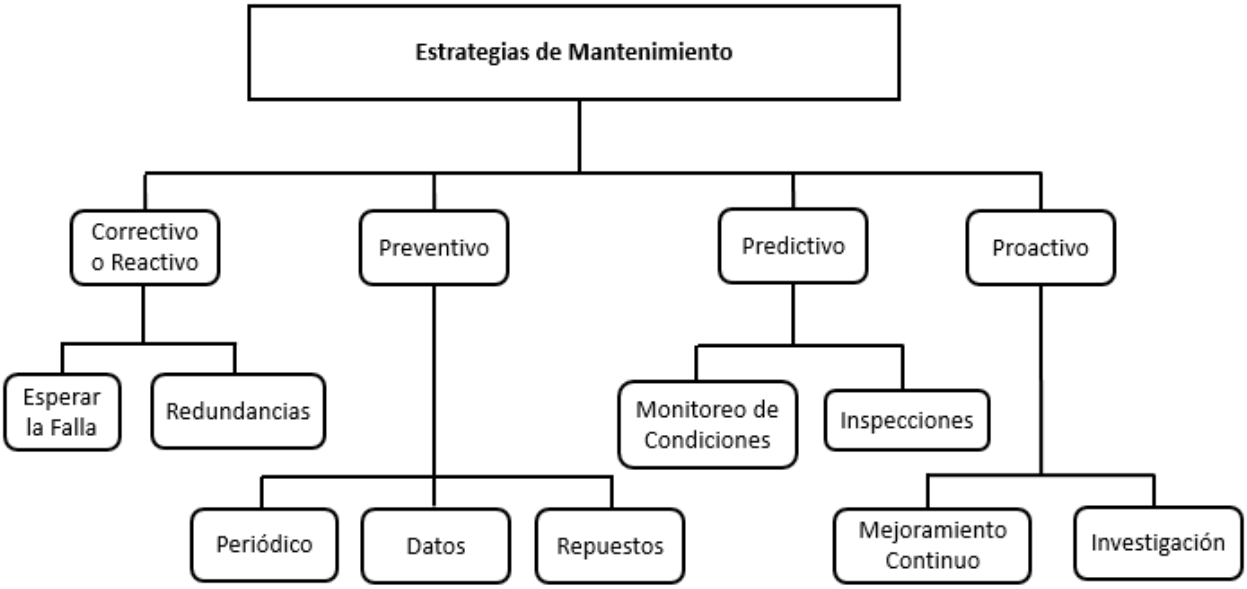

Figura 4: Principales estrategias de mantenimiento y enfoques.

- **Mantenimiento Correctivo:** Se basa en que el componente funcione hasta que ocurra la falla. Esto puede ser una decisión planificada o no planificada y suele utilizarse con redundancias en el sistema, es decir, si falla un componente existe otro componente que suple su función.
- **Mantenimiento Preventivo:** Se basa en realizar actividades periódicas de mantenimiento en el tiempo y con información histórica de los componentes y sus fallas. Se evita llegar a la falla a través de cambio de componentes.
- **Mantenimiento Predictivo:** Se basa en el seguimiento y estudio del componente en ciertas condiciones de operación por lo que se utilizan pruebas no destructivas en componente más críticos. Se realizan inspecciones visuales o mediciones para llevar un seguimiento. Llega a determinar los síntomas de la falla antes de que ocurra, pero no siempre podrá evitarla operando en condiciones normales.
- **Mantenimiento Proactivo:** Se basa en tomar medidas de mejoramiento continuo para evitar volver cometer los mismos errores y como también en realizar actividades de investigación. Puede llegar a detectar una causa raíz de una falla antes de que pase a ser irreversible (periodo de reversibilidad de una falla) en condiciones normales de operación.

3.3. Definición de Criterios de Mantenimiento

3.3.1 Criterio de Criticidad

Criterio que permite clasificar cualitativamente o cuantitativamente relevancia de componentes en un sistema para su funcionamiento en condiciones operacionales dadas. Existe gran variedad de factores que afectan la criticidad de componente, principalmente su función operacional dentro de la empresa, esto conlleva otros factores tales como seguridad, ambiente, frecuencia de fallas, producción, imagen de la empresa, costos y cualquier otro factor que se vea influenciado por un componente, es decir, el impacto global que tienen los componentes en una empresa. Tener en cuenta la importancia de la criticidad de ciertos componentes es clave para tener una mejor toma de decisiones y saber las prioridades de un modelo de mantenimiento.

3.3.2 Criterio de Confiabilidad Operacional

La confiabilidad es la probabilidad de que un equipo o componente opere sin falla por un determinado tiempo bajo condiciones de operación previamente establecidas. Ahora bien, la confiabilidad operacional es la capacidad de una instalación o un sistema integrado por cuatro factores: Procesos, Tecnología, Mantenibilidad y Valor Humano, para que en conjunto puedan cumplir satisfactoriamente funciones establecidas. A continuación, se muestran los aspectos más importantes de cada factor:

- **Procesos:** Establecer y respetar parámetros, cumplimiento de normas y procedimientos.
- **Componentes:** Optimizar eficiencias, gestión de activos, entendimiento operacional y extensión de tiempo medios entre fallas (por siglas en ingles MTBF).
- **Mantenibilidad:** Actitud preventiva en base a datos, equipos de trabajo y disminución del tiempo medio de reparación (por siglas en ingles MTTR).
- **Valor Humano:** Capacitación, motivación, cultura y sentido de pertenencia.

Un buen análisis por separado de estos factores y una buena inter-relación entre ellos aumenta la confiabilidad operacional con que se trabaja y disminuye y/o elimina fallas y tiempos improductivos.

En la Figura 5 se observa la interacción de los cuatro factores entre ellos y la Confiabilidad Operacional:

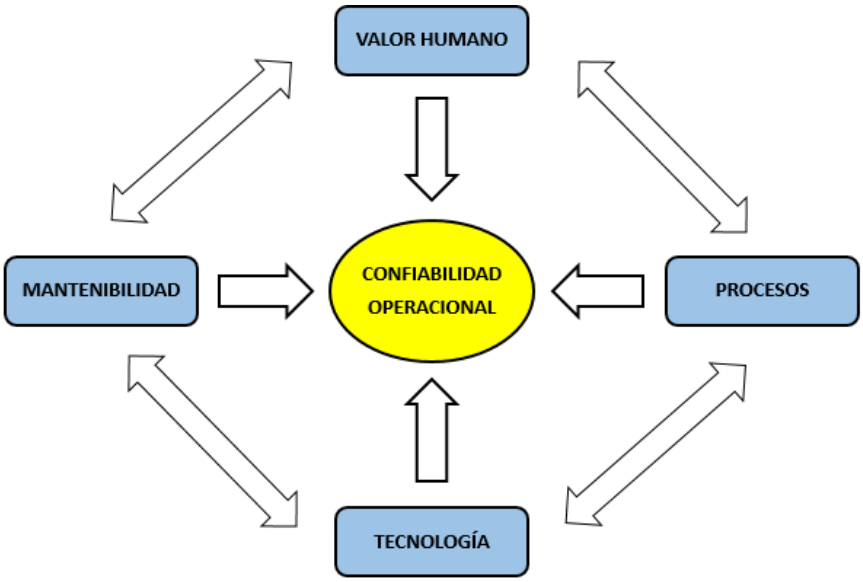

Figura 5: Pilares de Confiabilidad Operacional

3.3.3 Criterio de Mantenibilidad

Concepto que caracteriza la facilidad y rapidez del desarrollo con que se realizan las intervenciones de mantenimiento o reparación en un componente o sistema. También se puede definir como la capacidad que posee un componente o sistema para que se le diagnostiquen asertivamente los fallos, junto a la posibilidad que tiene de ser reparado en el menor tiempo posible de acuerdo a su complejidad. El tiempo de resolución de una falla dependerá del nivel de dificultad técnica que tengan el diagnóstico y el proceso de mantenimiento, además de la capacidad técnica, humana y logística disponible para efectuar la reparación.

En la Tabla 1 se presentan factores internos y externos que afectan la mantenibilidad del componente:

Tabla 1: Factores de Mantenibilidad

Factores Internos	Factores Externos
Acceso a los componentes, pieza y partes.	Disponibilidad de repuestos.
Complejidad técnica de los sistemas.	Disponibilidad de mano de obra especializada.
Disponibilidad manuales claros y completos.	Capacitación permanente de técnicos especialistas.
Uso de componentes, piezas y partes estandarizadas.	Capacidad de programación de tareas.
Manejo de componentes.	Estado de conservación general de la instalación.
Calidad de los componentes y materiales a usar.	Historial de averías y procedimientos.
Disponibilidad de herramientas necesarias.	Herramientas para diagnóstico.

Fuente: Manual de Mantenimiento, Alejandro Pistarelli.

3.3.4 Criterio de Disponibilidad

Corresponde a la aptitud de un componente o sistema de estar en un estado apto para cumplir una función requerida en condiciones dadas en el instante requerido y por un intervalo de tiempo establecido. Para que aumente la disponibilidad de un sistema, el tiempo medio de reparación (MTTR) debe mantenerse bajo. Este indicador, generalmente depende de:

- Facilidad del componente para realizar mantenimiento.
- Capacidad profesional de quienes hacen la intervención.
- Planificación del mantenimiento.

La disponibilidad refleja la posibilidad de utilización de un sistema desde el punto de vista técnico, es decir, antes de definir el valor de disponibilidad que se espera en el sistema no se consideran las

paradas no planificadas que se producen por falla en un componente, esto hará que el valor de disponibilidad real baje.

3.4. Herramientas del Mantenimiento, Calidad y Mejoramiento Continuo.

Para la elaboración de un Modelo de Mantenimiento es necesario utilizar métodos o herramientas para establecer las directrices de dicho modelo de tal manera que sea eficiente, organizado y se centre en los componentes más críticos del Teleférico, entregando así la información justa y necesaria para mantener la Operación del sistema sin paradas no programadas como también mantener los costos de mantenimientos controlados y por sobre todo garantizar la seguridad de trabajadores, pasajeros e instalaciones. A continuación, se presentan diversas herramientas que permiten un mejor enfoque tanto para Mantenimiento, Calidad y Mejoramiento Continuo, tres ejes fundamentales para crear un buen Modelo de Mantenimiento.

3.4.1 Matriz de Criticidad

Una Matriz de Criticidad es una herramienta que permite clasificar componentes o procesos según la relevancia de estos para una empresa. Esta clasificación se basa principalmente en dos factores: Impacto Operacional y Factores Críticos que generaría la falla que se ponderan según criticidad en una matriz que los clasifica según No Critico, Semi-Critico, Critico y Muy Crítico. Para realizar dicha ponderación se utiliza la siguiente formula que evalúa componente en caso de falla:

$$Criticidad = Impacto\ Operacional\ x\ Factores\ Críticos \tag{1}$$

A su vez, los Factores Críticos se clasifican de la siguiente manera:

- Impacto Operacional (IO): Factor que refleja impacto en la continuidad de operaciones y calidad del servicio.
- Frecuencia (FR): Factor que determina cada cuando falla el componente.
- Flexibilidad Operacional (FO): Factor que determina capacidad de solucionar el problema en un determinado tiempo.
- Seguridad y Medio Ambiente (SMA): Factor que determina el riesgo a personas y medio ambiente.
- Costos (C): Factor monetario que generaría la falla.

Por lo que la formula (1) queda:

$$Criticidad = IO\ x\ [FR + FO + SMA + C] \quad (2)$$

Para ponderar estos factores se realizaron las siguientes tablas para cada factor:

Tabla 2: Puntaje asignado para Frecuencia de Falla

Falla en el Tiempo	Puntaje
Anual o más	2
Semestral	4
Mensual	6
Semanal	8
Diaria	10

Fuente: Elaboración propio con personal de Teleférico de Santiago

Tabla 3: Puntaje asignado para Impacto Operacional

Falla Causa	Puntaje
Parada Total Prolongada	8
Parada Total Corta	6
Restringe uso de Cabinas Prolongadamente	4
Restringe uso de Cabinas Parcialmente	2
Insignificante	1

Fuente: Elaboración propio con personal de Teleférico de Santiago

Tabla 4: Puntaje asignado a Flexibilidad Operacional

Opción	Puntaje
Sin opciones de flexibilidad	4
Continuidad parcial del servicio	2
Repuestos y/o continuidad total	1

Fuente: Elaboración propio con personal de Teleférico de Santiago

Tabla 5: Puntaje asignado a Seguridad y Medio Ambiente

Falla Causa	Puntaje
Riesgo incontrolable con consecuencia incontrolable	10
Riesgo incontrolable con recursos actuales	8
Riesgo serio controlable	6
Riesgo menor controlable	4
Sin riesgo perceptible a personas y medio ambiente	2

Fuente: Elaboración propio con personal de Teleférico de Santiago

Tabla 6: Puntaje asignado a Costos.

Grado de Costos	Puntaje
Insignificante	1
Bajo	2
Intermedio	4
Alto	6
Significante	8

Fuente: Elaboración propio con personal de Teleférico de Santiago

Finalmente, para determinar la criticidad de los componentes según los factores mencionados anteriormente, se utiliza la formula (2) y luego la Tabla 7 para ponderar el puntaje de criticidad de cada componente:

Tabla 7: Tabla de Ponderación de Criticidad.

Rango	Criticidad	Color
[0-50]	No Critica	
[51-100]	Semi Critica	
[101-140]	Critica	
[141-∞]	Muy Critica	

Fuente: Elaboración propio.

3.4.2 Análisis de Causa Raíz (ACR)

Métodos para detectar posibles causas de fallas o problemas que se generan dentro de procesos de control. El **ACR** o análisis de causa raíz es un método para resolver problemas en el cual se pretende llegar a la causa basal que lo genera. Para esto es necesario identificar factores de magnitud, ubicación o condiciones operacionales de un evento para poder identificar comportamientos, acciones, inacciones o condiciones necesarias que deben cambiar para eliminar la causa. El ACR debe realizarse en forma sistemática, por lo general como parte de cualquier investigación, con conclusiones y causas raíces que sean comprobadas por medio de evidencia documentada. Pueden haber más de una causa raíz por evento o problema, la dificultad se encuentra en demostrar la persistencia y mantener el esfuerzo para resolverlos. El propósito de identificar todas las soluciones a un problema es prevenir la reaparición al menor costo, de la manera más simple. Para ser efectivo, el análisis debe establecer la secuencia de eventos para entender las relaciones entre los factores causales y el problema. El ACR ayuda a transformar una cultura reactiva (que actúa en consecuencia a problemas) a una cultura proactiva que resuelve problemas antes de que ocurran. En la presente memoria se propone aplicar ACR y llegar a la causa basal de fallas con las herramientas de Mantenimiento y Calidad que se explican en los siguientes capítulos.

3.4.3 Análisis de Modos de Falla, Efectos y Criticidad

El Análisis de Modos de Fallas, Efectos y Criticidad o conocido por FMECA por sus siglas en inglés (Failure Modes, Effects and Criticality Analisis) es una herramienta que permite organizar y establecer las posibles fallas funcionales de una función de un componente en cierto estándar de funcionamiento, los distintos modos de fallas que causa la falla funcional y sus efectos y consecuencias (riesgos) que determinan su criticidad. Esto ayuda a una mejor priorización en las fallas de componentes y las actividades preventivas a realizar, por ende, una mejor toma de decisiones en el mantenimiento y la distribución de sus recursos. Es una herramienta de Mantenimiento basado en Confiabilidad o RCM (Rebiality Centered Maintenance), es necesario notar que en esta memoria solo se propone la utilización de FMECA y no la implementación de RCM.

Es necesario notar que esta técnica, también puede ser utilizada para realizar mantenimiento basado en riesgo lo cual es de gran importancia en la operación y mantenimiento de un Teleférico. Por otro lado, busca eliminar la causa raíz de la falla para que la falla no vuelva aparecer y eliminar posibles fallas ocultas a partir de esa causa raíz. Estos dos últimos aspectos que cumple el FMECA son de gran importancia ya que ambos son requisitos de una buena Gestión de Activos según la norma ISO 55000.

El FMECA es utilizado para determinar qué se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico o sistema continúe haciendo lo que sus operarios quieran que haga en su contexto operacional, esto último es de gran importancia ya que es necesario conocer la función específica para la cual el activo físico o componente se está utilizando en el sistema o instalación, esto comprender tener un entendimiento global del sistema en estudio antes de aplicar esta herramienta.

Esta herramienta de mantenimiento es un método estructurado y deductivo en el que se basa en 7 preguntas que permiten identificar posibles fallas potenciales, sus causas raíces como también los efectos y consecuencias que estas fallas podrían traer para el sistema. Estas 7 preguntas se presentan a continuación:

1. ¿Cuáles son las funciones del equipo o sistema en su propio contexto operacional?
2. ¿De qué manera el equipo o sistema puede dejar de cumplir sus funciones?
3. ¿Qué causa cada falla funcional?
4. ¿Qué pasa cuando ocurre cada falla funcional?

5. ¿En qué manera afecta cada falla funcional?
6. ¿Qué se puede hace para prevenir o predecir cada falla?
7. ¿Qué debe hacerse si no puede prevenir la falla?

Al aplicar esta metodología y responder de manera ordenada la lista de preguntas en el transcurso del tiempo aparecen conceptos que utiliza el RCM que ayudan al mejor entendimiento de cómo podría llegar a fallar un activo y de qué manera se podría prevenir dicha falla. A continuación, se presentan los conceptos principales en los que se basa el Mejoramiento basado en la Confiabilidad:

- **Estándar de Funcionamiento:** Cada activo físico o componente por si solo está fabricado para realizar ciertas funciones, sin embargo, al ser utilizado en cierto proceso o sistema dicho activo tiene como objetivo realizar su o sus funciones para lograr un funcionamiento integrado del sistema. La capacidad inicial de un activo debe ser mayor que el estándar de funcionamiento deseado, de manera de poder cumplir con lo que se espera del sistema está actuando el activo y además de admitir el desgaste del activo.
- **Falla:** Se define como la incapacidad total o parcial del activo de realizar aquello que se espera que haga en su contexto operacional.
- **Fallas Funcionales:** Se define como la incapacidad de cualquier activo físico de cumplir una función según un parámetro de funcionamiento aceptable para el contexto operacional.
- **Modos de Fallas:** Se define como cualquier evento que pueda causar una falla funcional de un activo. Esto quiere decir que una Falla Funcional puede tener diversos Modos de Falla como su causa. Cada Modo de Falla debe ser definido con suficiente detalle como para posibilitar la selección de una adecuada actividad de mantenimiento preventivo para el manejo de la falla.
- **Efectos de Falla:** Se describe como que sucede después de cuando ocurre un modo de falla. Los Efectos de Falla pueden provenir de distintos Modos de Fallas, como también estos pueden tener diversos Efectos de Falla. La descripción de los Efectos de Falla debe tener en cuenta lo siguiente (si es que los hubiese en cada caso):
  - Evidencia de que se ha producido una falla (olor, temperatura, color, producción, etc.).
  - Maneras en que la falla puede ser un riesgo para la seguridad.
  - Maneras en que la operación se ve afectada.
  - Daños físicos en la instalación.

- **Consecuencias de Falla:** Se describe como dónde, cuánto y cómo importa que ocurra el Modo de Falla. Notar que un Efecto de Falla responde a la pregunta *¿Qué ocurre?*, mientras que una consecuencia de Falla responde a la pregunta *¿Qué importancia tiene?*, por lo tanto, se puede decir que al reducir los Efecto de Falla en términos de frecuencia y/o severidad se estará reduciendo sus consecuencias. Sin embargo, es preciso notar que no siempre los componentes más críticos en términos de falla son los que tienen las consecuencias más importantes, por lo que probablemente sea más conveniente esperar a que ocurra la falla que realizar mantenimiento preventivo. Entre las consecuencias más comunes se encuentran:
  - Baja producción o calidad del servicio.
  - Riesgos para la seguridad o medio ambiente.
  - Incremento de costos operativos.
  - Aparición de fallas ocultas, fallas que no ocurren por sí solas, pero se manifiestan con otras fallas.
- **Actividades de Mantenimiento:** Son todas las actividades que se realizan con el fin de prevenir la ocurrencia de Modos de Falla en los activos físicos. Las Actividades de Mantenimiento deben responder de manera clara las siguientes preguntas: ¿Qué hacer?, ¿Cómo hacerlo?, ¿Cuándo hacerlo?, ¿Cada cuánto hacerlo? y ¿Quién lo hace?

En la Figura 6 se puede ver un esquema general de la secuencia de cada paso al realizar un FMECA:

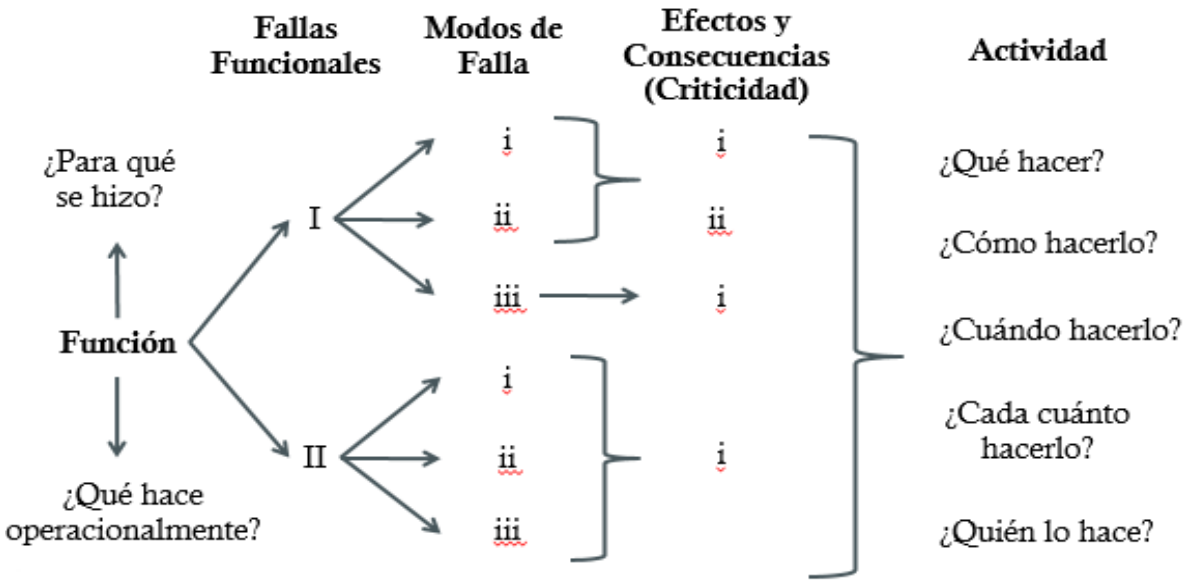

Figura 6: Secuencia de esquemática de un FMECA

3.4.4 Diagrama Causa-Efecto

El **Diagrama de Causa-Efecto** es un método grafico que permite relacionar una falla y sus posibles causas. Este método se basa en buscar la causa de la falla desde diferentes perspectivas y ayuda a no dar por obvias algunas posibles causas. Para realizar el método más común es el de las 6M: Mano de Obra, Métodos, Maquinas, Materiales, Mediciones y Medio Ambiente. Estas 6 variables definen de manera global todo proceso. En la Figura 7 se puede observar como disponen estas seis variables con sus factores:

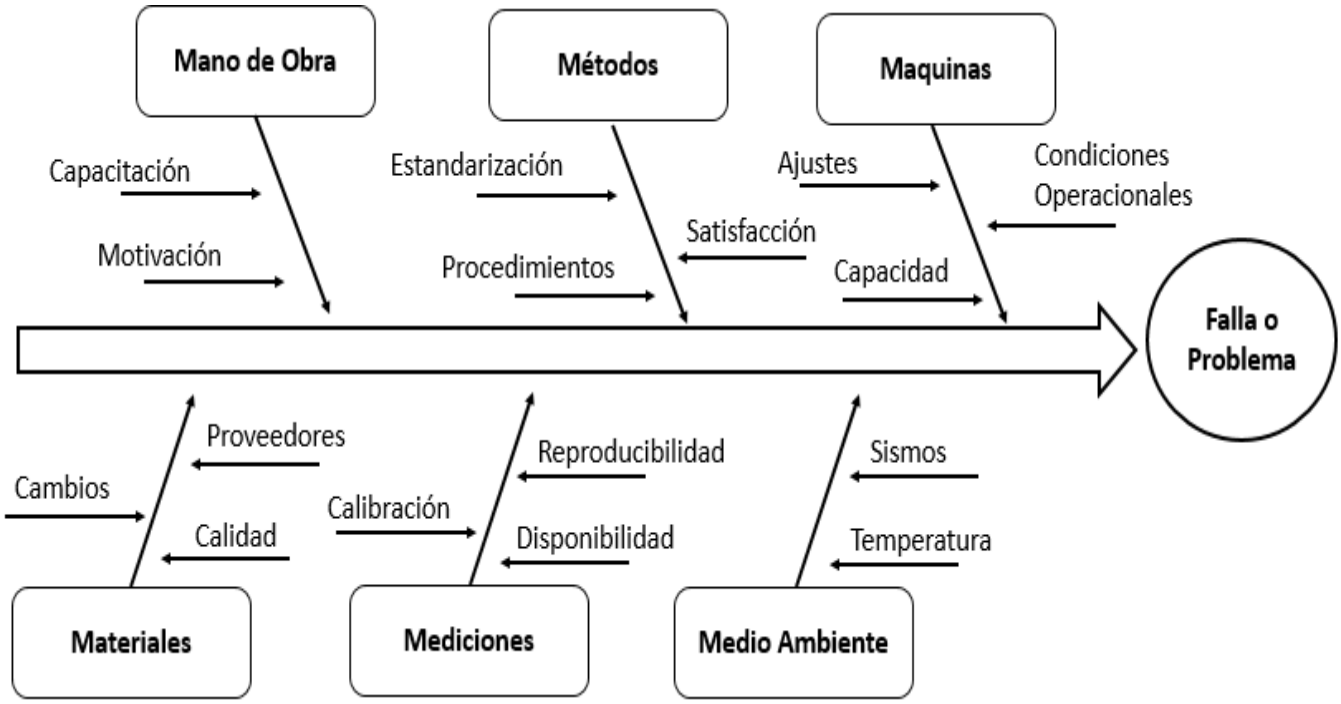

Figura 7: Diagrama de Causa-Efecto con metodología de 6M.

Una de las ventajas de utilizar el Diagrama de Efecto-Causa es que se concentra en los procesos que se realizan en torno a la falla en estudio y no en el resultado final (producto o servicio). Además, el uso de las 6M permite ubicar más fácilmente de donde proviene la mayor variabilidad para cada problema o falla, la cual se quiere eliminar, reducir o en última instancia controlar. Además, esta herramienta se puede utilizar para detectar ineficiencias en problemas de gestión, ya que en procesos también se pueden encontrar factores que provoquen el no cumplimiento de etapas o cumplimiento parcial.

3.4.5 Índice de Capacidad

Índices de control de calidad que permiten conocer la amplitud de variación natural de un proceso o el seguimiento del comportamiento de un componente, así se puede saber en qué grado satisface las especificaciones establecidas por los fabricantes. Estos índices permiten conocer la variabilidad que tiene el comportamiento de un componente y se puede predecir la tendencia de dicho componente en algunos factores como temperatura, vibraciones, esfuerzos, corriente, voltajes, etc. La fórmula (3) es para procesos con doble especificación (superior e inferior), mientras que las formulas (4) y (5) son para procesos con solo una especificación, superior e inferior respectivamente:

$$C_p = \frac{ES-EI}{6\sigma} \tag{3}$$

$$C_{ps} = \frac{ES-\mu}{3\sigma} \tag{4}$$

$$C_{pi} = \frac{\mu-EI}{3\sigma} \tag{5}$$

Donde ES es la Especificación Superior, EI es la Especificación Inferior, σ es la varianza de los datos tomados y μ es la media que tienen las mediciones. Para saber si se cumple con las especificaciones o limites se debe seguir la siguiente Tabla 8 para los índices:

Tabla 8: Interpretación índice C_p, C_{ps} y C_{pi}

$C_p > 2$	Excelente calidad.
$C_p > 1{,}33$	Adecuado
$1 < C_p < 1{,}33$	Parcialmente adecuado, requiere de control estricto.
$0{,}67 < C_p < 1$	No adecuado para el trabajo. Es necesario un análisis del proceso.
$C_p < 0{,}67$	No adecuado para el trabajo. Requiere modificaciones serias.

Fuente: Control Estadístico de la Calidad y Seis Sigma. H. Gutiérrez.

3.4.6 Cartas de Control

Son gráficos que permiten observar y analizar la variabilidad en procesos y componentes a lo largo del tiempo, así se puede analizar el comportamiento y analizar posibles causas de tendencias las cuales pueden factores comunes o especiales dentro de un proceso o estado de un componente. Es importante mencionar que los **límites de las cartas de control son definidos a partir de los datos estadísticos obtenidos y no establecidos por especificaciones**, tolerancias o deseos y se definen a partir de la media (μ) y su desviación estándar (σ) a partir de las siguientes formulas:

$$LCI = \mu - 3\sigma \tag{5}$$

$$Línea\ Central = \mu \tag{6}$$

$$LCS = \mu + 3\sigma \tag{7}$$

Donde LCI y LCS corresponden a los Limite Central Inferior y Superior, respectivamente. Existen dos tipos de cartas de control, la para variables y la por atributos, la primera es para datos continuos (temperatura, voltaje, humedad, tiempo, etc.) mientras que la segunda es para datos discretos, en esta memoria se utiliza las cartas de control para variables para hacer seguimiento a componentes.

3.4.7 Mapeo de Procesos

Consiste en hacer un diagrama de proceso detallando específicamente la secuencia de actividades principales que se realizan. La finalidad de esta herramienta es tener una mejor visión del proceso que ayuda para conocer sus límites y hacer un análisis del mismo. Al realizar un mapeo de procesos se puede observar con mayor claridad las principales variables de salida y entrada como también las actividades que agregan o no valor al proceso. Además, permite añadir especificaciones de procedimientos u operaciones para los procesos con variables de entradas más importantes para un sistema. Las principales ventajas de un Mapa de Procesos son:

- Detectar carencias: Actividades que se creen que se realizan, pero no se hacen.
- Acotar procesos: Donde empieza y donde termina, que incluye y ver redundancias.
- Establece relaciones: Entre etapas secuenciales y participantes.
- Detecta actividades sin responsabilidad: Vacíos de responsabilidad en etapas.

3.4.8 Ciclo DMAIC

Metodología de mejoramiento continuo que permite que un proceso sea sostenible a través del tiempo a través de eliminando posibles fallas y mejorando su eficiencia. Este ciclo consta de cinco etapas las cuales son descritas brevemente a continuación (las siglas vienen del inglés *Define, Measure, Analyse, Improve* y *Control*):

- **Definir:** Primera etapa del ciclo en la que se enfoca y delimita el proceso, precisando el por qué se hace, beneficios esperados y métricas con las que se definirá el éxito o satisfacción. En esta etapa se definen las etapas y responsabilidades en cada una de estas.
- **Medir:** Segunda etapa del ciclo donde se entiende mejor y cuantifica la magnitud de ciertos parámetros. Se debe mostrar evidencia que se tiene un sistema de medición adecuado para los análisis.
- **Analizar:** Tercera etapa del ciclo donde se identifican y confirman las causas de fallas o inconvenientes. Además, se comprende de mejor manera como se generan los problemas que van ocurriendo.
- **Mejorar:** Cuarta etapa del ciclo donde se proponen, implementan y se evalúan posibles soluciones para evitar o controlar las causas raíces que generan las fallas o problemas.
- **Controlar:** Última etapa del ciclo en donde se decide que mejoras son establecidas definitivamente en el proceso. Se debe estandarizar el proceso a medida que se va mejorando, esto puede implicar en cambio en condiciones o en procedimientos del proceso.

A continuación, en la Figura 8 se muestra un esquema del ciclo:

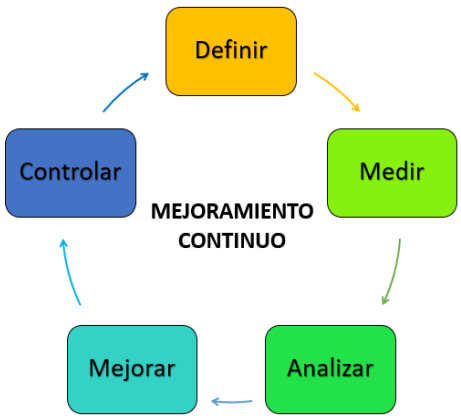

Figura 8: Proceso de Mejoramiento Continuo DMAIC.

3.5. Costos del Mantenimiento.

Como se ha dicho anteriormente, para poder gestionar eficientemente el departamento de mantenimiento de un Teleférico es altamente necesario saber gestionar adecuadamente los recursos que se tienen a lo largo de todo el periodo en que se está a cargo el mantenimiento, es decir, tiene que haber una mirada a largo plazo como también una mirada holística de toda la gestión del mantenimiento para tener una mayor claridad de sus costos. Una adecuada gestión de los costos del mantenimiento traerá como consecuencia una **reducción de los costos globales a largo plazo** y **aumentara la eficiencia en que se administran los recursos a mediano plazo**.

Para tener mayor claridad en los costos que se tienen es necesario poder categorizar los diferentes tipos de costos que hay en el mantenimiento de un Teleférico, de tal manera que sea posible poder medirlos y controlarlos. En la Figura 9, se observa una de las categorizaciones que muestra las principales áreas de costos que tiene el mantenimiento:

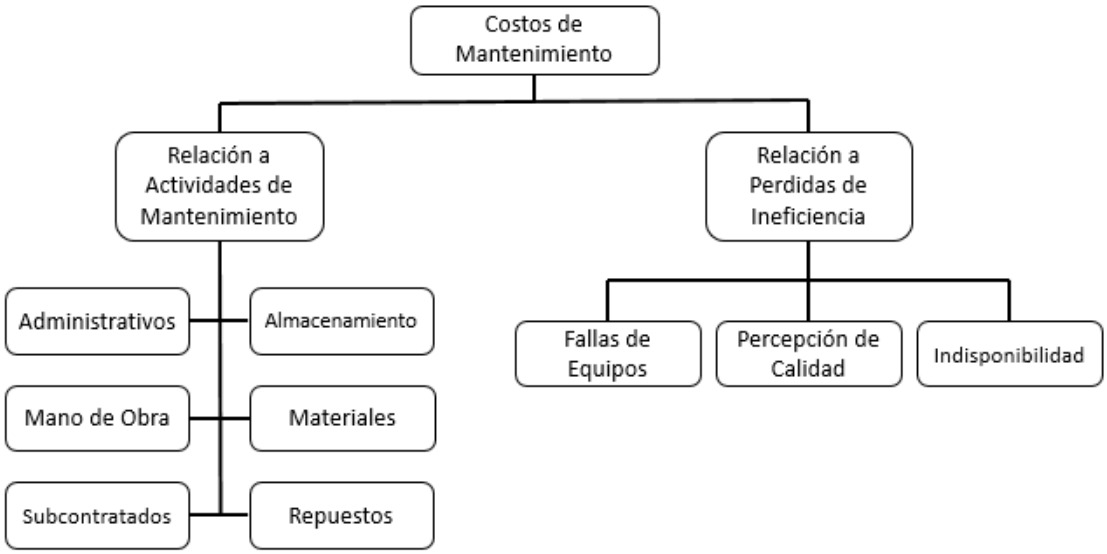

Figura 9:Costos de Mantenimiento según causa.

De esta manera, al categorizar los costos es más fácil tener indicadores de cada área en particular y así poder calcular su porcentaje respecto al total de costos de mantenimiento (suma de todos los costos) y luego poder realizar mediciones, controlar los costos a lo largo del tiempo y hacer presupuestos en el tiempo ajustado a datos y no de manera intuitiva o improvisada. A continuación, se especifica a lo que respecta cada costo.

3.5.1 Relación a Actividades de Mantenimiento

Costos con los que tienen directo impacto en el acto de realizar la actividad de mantenimiento, dentro de los cuales se tiene:

- **Costos Administrativos:** Costos relacionados a tramites que se deben realizar para poder llevar a cabo las actividades de mantenimiento y a personal directamente relacionado a mantenimiento excluyendo al Costo de Mano de Obra como también el costo que lleva consigo la documentación del mantenimiento. Principalmente son los costos a gerentes, ingenieros, secretarias, ordenes de trabajo, licencias de softwares, impuestos, etc.
- **Costos de Mano de Obra:** Costos en los cuales se considera el personal de planta en cargado de realizar las actividades del mantenimiento. Principalmente se encuentran técnicos mecánicos y técnicos eléctricos como también personal encargado de las estaciones.
- **Costos de Sub-Contratos:** Costos relacionados a actividades de mantenimiento específicas y realizadas por empresas externas que prestan un servicio especializado. Generalmente son actividades de mantenimiento predictivo tales como Magnetografía, Análisis de Vibraciones, Termografía y Tribología el cual se realiza a componentes críticos del Teleférico.
- **Costos de Almacenamiento:** Todo material y repuesto que es comprado necesita ser almacenado en un lugar físico, por lo que este costo incluye todo el costo que conlleva almacenar y mantener en óptimas condiciones los materiales y repuestos. Este costo principalmente se compone de arriendo o mantención del lugar físico, costo de conservación de inventario (refrigeración, engrasado, calor, etc.), costo por obsolescencia, costo por riesgo de inventario (pérdida o robo) y costo de servicios de inventario (personal de pañol)
- **Costos de Materiales:** Costos de insumos necesarios para realizar las actividades de mantenimiento, principalmente son herramientas, lubricantes, aceites y elementos de sujeción.
- **Costos de Repuestos:** Costo compuesto por el costo de los repuestos de los componentes del Teleférico. Es necesario determinar el número optimo total de repuestos por componente según sea lo más conveniente económicamente y técnicamente para no

sobrestimar este costo generando mayor gasto o subestimar este costo generando así indisponibilidad en el sistema.

3.5.2 Relación a Perdidas por Ineficiencia

Costos de mantenimiento no esperados que pueden ser causado por múltiples factores tales como mala planificación, mala ejecución, falla o parada de sistema no esperada, entre otras. Dentro de estos costos se tienen tres principales:

- **Fallas de Equipos:** Costos por fallas no esperadas que se producen en un equipo o componente del Teleférico. El costo es la suma de Mano de Obra, Materiales, Repuestos y todo lo que se use de manera imprevista para solucionar y/o reparar esta falla.
- **Percepción de Calidad:** Al realizar mal el mantenimiento a lo largo de cualquiera de sus etapas (planificación, programación o ejecución) lleva consigo malos resultados como lo más probable una falla de un equipo, sin embargo, puede que no haya ocurrido aun la falla, pero la percepción de la calidad del servicio disminuya para el pasajero por un no adecuado funcionamiento del sistema. Es por esto que es muy difícil poder determinar este costo, ya que es un costo que no se paga, sino que es una utilidad que se deja de ganar por gente que potencialmente podría haber ido al Teleférico.
- **Indisponibilidad:** Al generarse una falla en un componente en específico se puede generar una indisponibilidad parcial o total en el sistema. El primer caso sería sacar una cabina de la línea para realizarle mantenimiento (el sistema sigue funcionando con el resto de las cabinas) y en el segundo caso es una parada total del sistema y cierre del Teleférico por un tiempo. En este caso el costo se estima según las utilidades que se dejan de percibir debido a la indisponibilidad.

3.5.3 Según Tipo de Mantenimiento

Otra manera efectiva (no excluyente) de llevar a cabo la categorización y control de costos es mediante la categorización según tipo de mantenimiento que sea realiza, ya sea, predictivo, preventivo o correctivo. Si bien, cada una de estas categorías conlleva mismos tipos de costo como lo son Mano de Obra y Materiales, es de gran utilidad diferenciarlos ya que es conveniente al momento de comprar el presupuesto inicial con el costo real que se hizo. En la Figura 10, se puede

ver los diferentes tipos de costos según el tipo de mantenimiento que se realiza y sus principales costos:

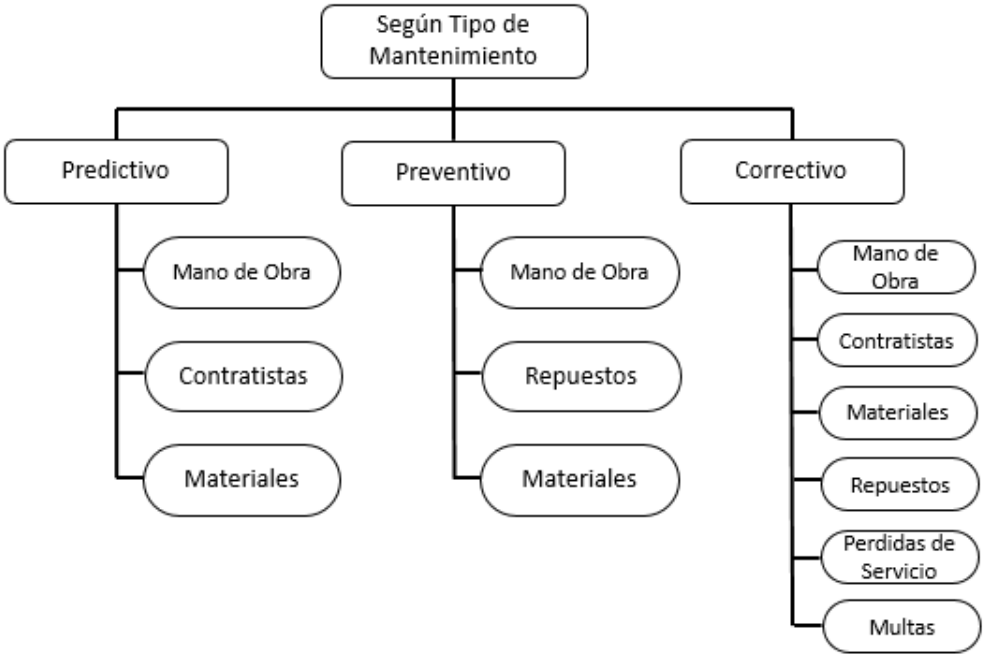

Figura 10: Costos de Mantenimiento según estrategia.

Dependiendo el tipo de estrategia establecida anteriormente se decidirá a qué tipo de mantenimiento se realizará mayor inversión, sin embargo, en este caso al verse involucradas vidas humanas al poder ocurrir una falla no prevista el costo de Mantenimiento Correctivo debe ser el menor, según lo presupuestado.

3.5.4 Inversión

Para llevar un orden y no costear gastos extras, imprevistos y/o excesivos es necesario llevar a cabo un presupuesto de Mantenimiento al cual la empresa se pueda regir durante un tiempo determinado y así medir y controlar el costo previsto. El presupuesto debe contemplar todo lo que concierne el mantenimiento a corto, mediano y largo plazo y debe involucrar a todo el personal de mantenimiento para abarcar mayor conocimiento de los costos que se realizan para poder realizar un mejor análisis de las áreas que más demandan recursos. Históricamente se sabe que las empresas que no consideran los costos de sus activos físico a lo largo de todo su ciclo de vida y realizan una baja Inversión en Mantenimiento, con el tiempo sus costos globales tienden a incrementar una vez que se haya iniciado la puesta en marcha de producción o entrega de servicio de la empresa.

Mientras que las empresas que si realizan análisis a sus costos a largo plazo y si hacen una mayor inversión en mantenimiento logran controlar y converger sus costos de manera que pueden administrar mejor sus recursos.

En la Figura 11 se observa las tendencias históricas de lo que sucede con los costos globales en relación a la manera que se realiza la inversión inicial en la mantención de sus activos físicos en su ciclo de vida:

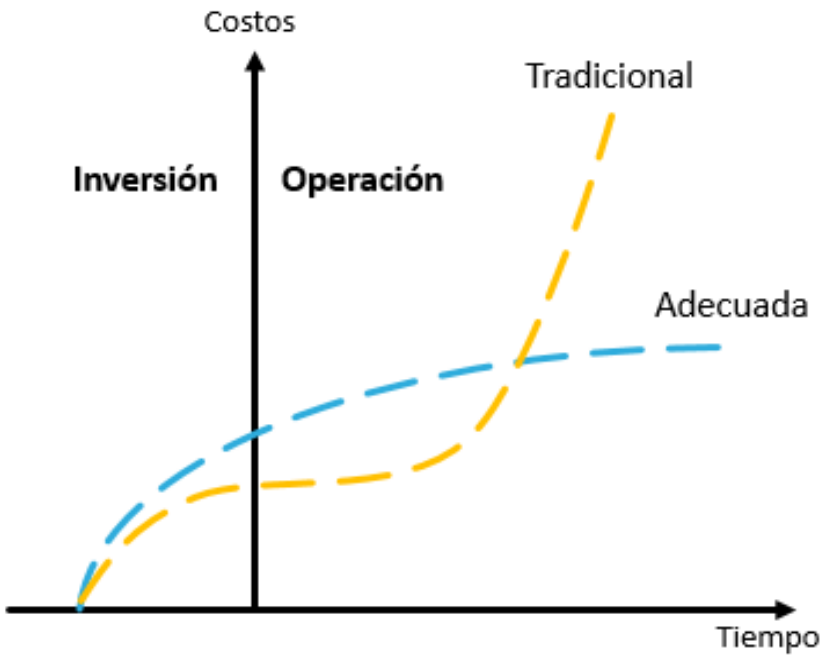

Figura 11: Costos de Mantenimiento en el tiempo según Inversión.

Es claro señalar que para realizar un presupuesto abordable es imperante conocer con claridad los planes de mantenimiento según sea su tipo, ya que esto llevara a tener mayor certeza a lo que se debe invertir en mantenimiento así se evitara la sub-gestión o sobre-gestión. Por ejemplo, la poca inversión en mantenimiento preventivo o predictivo (bajo costo) puede llevar un alto gasto de mantenimiento correctivo y de ineficiencia o viceversa. En la Figura 12 se observa que los costos totales de mantenimiento se encuentran donde los costos de inversión y costos de ineficiencia son iguales o muy cercanos:

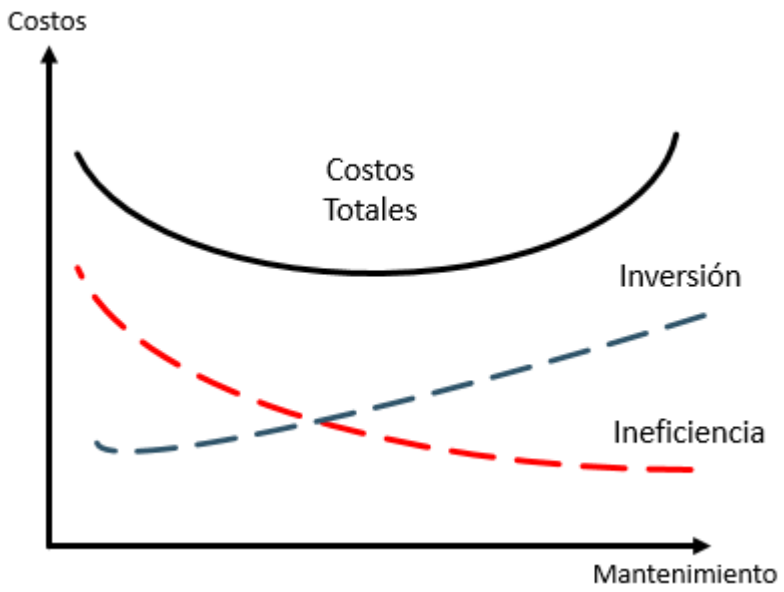

Figura 12: Relación entre Inversión y Costos de Ineficiencia con Costos Totales.

Es importante señalar que **no** siempre se optará por tener **costos de mantenimientos mínimos,** ya que esto dependerá de la estrategia de mantenimiento optada por la empresa. Esto se puede explicar básicamente debido a que el costo mínimo de mantenimiento puede conllevar un **riesgo muy alto** en termino de costos por ineficiencia, no dispuesto a pagar, pero si dispuesto a pagar su inversión o en términos de **accidentabilidad** tanto de personal o de pasajeros.

3.6. Teleféricos

El Teleférico es un tipo más de Transporte por Cable, al igual como lo son los Funiculares y otros tipos de Transporte por Cable del tipo Aero como las Telesillas. A su vez, existen distintas clasificaciones de Teleféricos como lo son según tipo de cables, según tipo de vehículos, según tipo de unión del vehiculó al cable, según tipo de movimiento y según tipo de objeto de carga, entre otros. En esta memoria, el trabajo está focalizado a un tipo de Teleférico, sin embargo, las bases del modelo planteado son genérico para todo tipo de Teleféricos. En esta memoria se consideró un Teleférico con las siguientes características:

- **Monocable:** El cable realiza las funciones tanto de cable tractor como de cable portador. Los vehículos se conectan al cable mediante pinzas o mordazas.
- **Movimiento Continuo:** Circulación del cable tractor-portador se realiza a velocidad constante. Los vehículos pueden o no estar unidos permanentemente al cable.

- **Unión Temporal Vehículo-Cable:** Unión se efectúa a la salida de la estación y se libera a la llegada del vehículo a la siguiente estación, donde el vehículo reduce la velocidad para el embarque o desembarque de pasajeros. Son instalaciones de pinzas desembragables.
- **Sistema de Mando Manual:** La marcha del sistema está regulada por un operador situado en la sala de comando o estación el cual puede modificar velocidad del Teleférico.

3.7. Levantamiento Sistemas de un Teleférico.

Un Teleférico es un tipo de sistema de Transporte por Cable Aéreo que permite transportar carga o personas ya sea para fines turísticos o de transporte público, sin embargo, sin importar con el fin para el cual se construyen los Teleféricos, cada uno de estos está constituido por seis sub-sistemas principales que permiten el transporte aéreo. A continuación, se enlistan los seis sub-sistemas de acuerdo a la normativa UNE-EN:

1. Vehículos
2. Grupo Motor
3. Cable Tractor y Pinzas
4. Dispositivos Mecánicos
5. Dispositivos Electrónicos
6. Dispositivos de Salvamentos

**Notar que en este trabajo de Memoria no se considerara los sub-sistemas de Dispositivos Electrónicos y Dispositivos de Salvamento.*

3.7.1 Vehículos

Sub-sistema encargado de transportar pasajeros o cargas según finalidad de Teleférico. Como se mencionó anteriormente existe en la industria una variedad de tipos de vehículos según el tipo de Teleférico que sea. En esta memoria se considerarán tres tipos de vehículos, sin embargo, la finalidad de esta memoria es establecer las bases de un modelo de mantenimiento para Teleférico cualquiera sea su tipo de vehículos. Además de contar con los vehículos propiamente tal, el sub-

sistema incluye el mecanismo de suspensión de estos. A continuación, se presentan los vehículos a considerar en la memoria y los mecanismos de estos:

a) **Cabinas:** Vehículo encargado de trasladar pasajeros o carga a lo largo de toda la línea y estaciones. Compuesto principalmente por:

- Estructura: Armazón que mantiene todas las partes unidas. Consta del suelo, bancos para pasajeros (plegables), techo, parachoques, puertas, chasis, acristalamientos, elementos de sujeción y sobre el techo sostiene los componentes de conexión con el Mecanismo de Suspensión. Las piezas de conexión comprenden (Figura 13) un chasis (1), cuatro suspensiones (2) y cuatro barras de tensión (3). El chasis sostiene la cabina por medio de cuatro suspensiones (2) de gran desplazamiento. Dichas suspensiones están colocadas entre las esquinas superiores del chasis y los soportes de cuellos de cisne (5) del armazón de la cabina. Las cuatro barras de tensión (3) conectan los cuellos de cisne entre sí para mayor estabilidad.

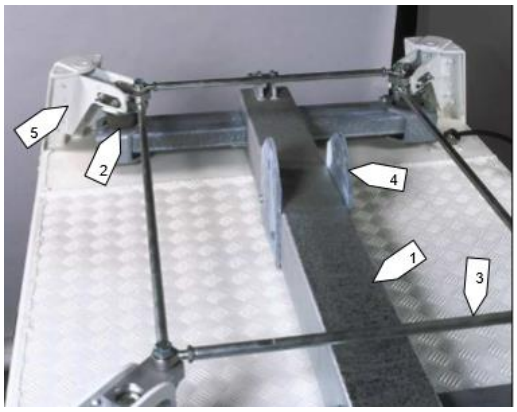

Figura 13: Conexión entre cabina y brazo de suspensión.

- Mecanismo Externo de Control de Puertas: Encargado de cerrar y abrir las puertas al salir y entrar las cabinas a la estación. Este mecanismo se encuentra en el brazo de suspensión de la cabina y está compuesta por una palanca, cilindro hidráulico y un soporte. Cuando la cabina llega a la estación, el flap de apertura ubicado en la estructura o armazón de la estación, acciona la palanca y el cilindro hidráulico transmite el movimiento al cofrecillo de maniobra de las puertas para abrirlas. Para cerrar es la misma secuencia con el movimiento inverso de la palanca para cerrar

las puertas. En la Figura 14 se puede ver el Mecanismo Externo de Control de Puertas:

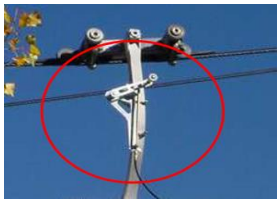

Figura 14: Mecanismo Externo de Control de Puertas.

- Mecanismo Interno de Control de Puertas (Cofrecillo): El mecanismo de maniobra de puertas está inserto en un cofrecillo extraíble y compacto montado en el techo de la cabina. El mecanismo del cofrecillo (2) (Figura 15) es solicitado por el mecanismo externo a través de un cilindro hidráulico para abrir, cerrar, y asegurar el cierre de las puertas. Dos brazos controlan cada puerta uno de ellos el llamado brazo seguidor (3) que controla la orientación de la puerta y el otro llamado brazo motor (4), acciona la puerta (5). El centro del mecanismo del cofrecillo es una rótula accionada por un flexible (6). Una biela de compresión de muelle (7) asegura la transmisión entre la rótula y cada brazo motor. Las puertas dobles están conectadas en su movimiento y no pueden abrirse por separado. Cada puerta es guiada en su movimiento de apertura y cierre por un brazo portador (8). Este brazo está articulado sobre un soporte (9). Durante el cierre de las puertas, el movimiento del mecanismo del cofrecillo pasa por un punto duro, lo cual garantiza el arrodillamiento de las puertas en posición cerrada. El muelle sobre la biela asegura el paso del punto duro en el momento del arrodillamiento.

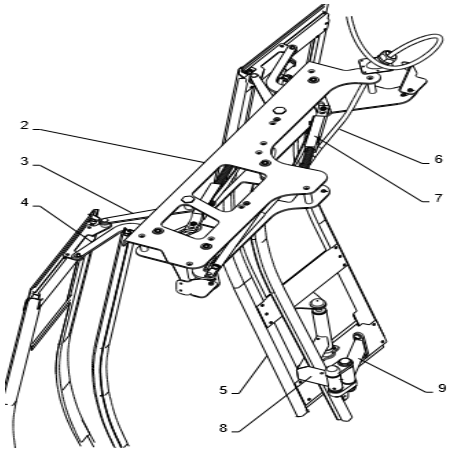

Figura 15: Mecanismo Interno de Control de Puertas.

- Modulo radio-iluminación: La cabina consta de una batería la cual es cargada mediante energía solar mediante un panel fotovoltaico y permite que la cabina tenga comunicación inalámbrica con personal del teleférico en caso de haber algún acontecimiento fuera de lo normal. También permite que las cabinas se mantengan iluminadas en su interior a partir de alguna hora determinada.

b) **Vehículo de Servicio o de Mantenimiento:** Carro para realizar las actividades de mantenimiento o de socorro a lo largo de la línea, torres y estaciones. El sistema de sujeción al cable, la pinza y suspensión son iguales al de una cabina. Este carro consta de una escalera y una plataforma en cao de ser necesarias. En la Figura 16 se puede ver un Vehículo de Servicio:

Figura 16: Vehículo de Mantenimiento

c) **Porta-Bicicletas:** Vehículo diseño para cargar exclusivamente bicicletas y ningún otro tipo de carga. Se puede montar solo bicicletas del tamaño definido por el fabricante del porta-bicicletas, del modo contrario, puede activar dispositivo de seguridad y parar el sistema. El sistema de sujeción al cable, la pinza y suspensión son iguales al de una cabina. Consta de un chasis para poner las bicicletas. En la Figura 17 se puede ver un porta-bicicletas:

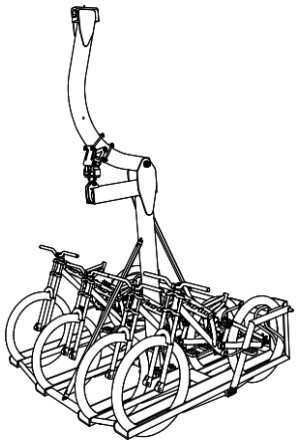

Figura 17: Vehiculo Porta Bicicletas.

d) Mecanismo de Suspensión: Mecanismo que sostiene a los vehículos. Por un extremo está unido a la pinza desembragable mediante un eje de conexión y por el otro extremo mediante un chasis ubicado en el techo de la cabina (1). El mecanismo de suspensión consta de un brazo de suspensión (2), un chasis de conexión (3), dispositivo amortiguador (4) y el Mecanismo Externo de Control de Puertas (5) como se puede ver en la Figura 18:

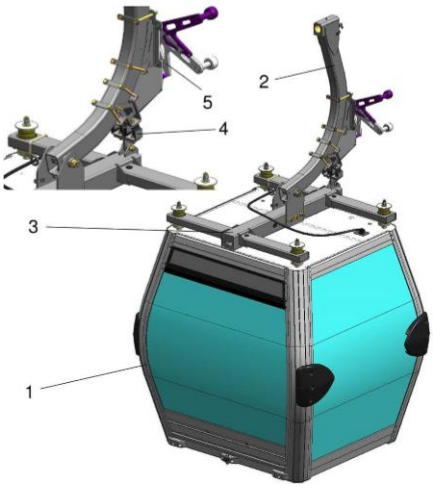

Figura 18: Suspensión de Cabina.

e) **Puntos de amarre socorrista:** Existen dos puntos de amarre de socorristas:

- Punto Externo: Orificio de amarre ubicado en el Mecanismo Externo de Control de Puertas. Este orificio está destinado al amarre del equipo de protección individual (EPI) del socorrista para que éste pueda efectuar de manera segura las operaciones preliminares en el techo de la cabina y las operaciones de

evacuación de los pasajeros desde el interior de la cabina, si la longitud de su EPI lo permite. En la Figura 19 se puede ver su ubicación:

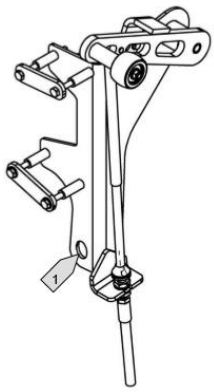

Figura 19: Punto externo de amarre de socorro.

- Punto Interno: Anillo de amarre en el interior de la cabina destinado a la sujeción del API del socorrista. Así, éste podrá efectuar, de manera segura, las operaciones de evacuación de los pasajeros desde el interior de la cabina. El anillo está remachado sobre un montante de la cabina al lado de las puertas. En la Figura 20 se puede ver su ubicación:

Figura 20: Punto interno de amarre de socorro.

3.7.2 Grupo Motor

Sub-sistema encargado de energizar el sistema, que entre en movimiento el Teleférico y que se activen algunos dispositivos electrónicos de seguridad. Este sub-grupo se ubica en su totalidad en la estación motriz. Está compuesto principalmente por los siguientes componentes:

a) **Motor Principal:** Motor asincrónico trifásico encargado de activar el sistema. La potencia variara según el largo de línea y cantidad de vehículos y estará entre 150kW y 840kW, al igual que su corriente nominal que variara entre 271 A y 1452 A, sin embargo, la tensión de alimentación de la red y la velocidad nominal no varían, con valores de 400 V trifásico y 1500 rpm respectivamente.

b) **Motor de Emergencia:** El motor de emergencia permite evacuar la línea de la instalación en caso de no poder contar con el motor principal. También permite realizar ciertas operaciones de mantenimiento. Está ubicado en el eje que une el volante principal con el reductor, el motor de emergencia acciona el volante mediante una corona dentada y es alimentado por un grupo electrógeno.

c) **Grupo Electrógeno:** Encargado de energizar el sistema en caso de emergencia o socorro. Está conectado con el motor de emergencia en la estación motriz. La función de la transmisión de emergencia es permitir la de trasladar a los pasajeros a la estación más próxima cuando éstos se han quedado inmovilizados en línea a causa de una parada debida los siguientes fallos:

- Fallo de la red de suministro eléctrico.
- Fallo de motor principal
- Fallo de reductor.
- Fallo del autómata de control.
- Fallo del autómata de seguridad.
- Fallo del freno de disco.

d) **Freno de Disco (o de Servicio):** Freno de zapata electromagnética normalmente cerrada, al energizar el sistema mediante el motor principal el electroimán se activa y abre el freno, también en casos de emergencia se puede abrir manualmente. Está conectado por un lado al motor principal y por otro lado a un cardan que transmite movimiento al reductor.

e) **Cardanes:** Componente encargado de transmitir movimiento entre otros dos componentes. Existen dos cardanes en el Grupo Motor de un Teleférico:

- Entre Freno de Disco y Reductor
- Entre Reductor y la Polea Principal (cuando la polea es aérea y el Grupo Motor está bajo suelo)

f) **Reductor:** Reductores de Teleféricos son de tres etapas, la primera etapa consta de un engranaje cónico y las etapas dos y tres son de engranajes planetarios y también son de dos ejes, uno horizontal o primario (conectado al cardan) y otro vertical (conectado a la Polea Principal o cardan según si grupo motor sea subterráneo). Reductor es lubricado por circulación a través de una bomba hidráulica de aceite, el cual es refrigerado mediante un ventilador.

En la Figura 21 se puede la disposición de los principales componentes del Grupo Motor: Motor Principal (1), Freno de Disco (2), Cardan (3) y Reductor (4) al cual se le acopla un cardan para transmitir movimiento hacia la polea principal.

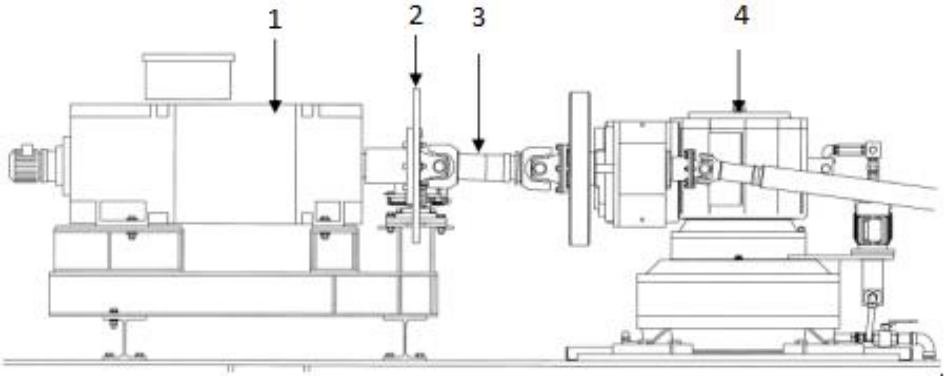

Figura 21: Configuración de Equipo Motor y Freno.

3.7.3 Cable Portador-Tractor y Pinzas.

Sub-sistema encargado de sostener y hacer circular los vehículos del Teleférico, está compuesto por:

a) **Cable Portador-Tractor:** Cable por el cual se sujetan las pinzas que sostienen los vehículos del Teleférico. Este cable a su vez es sostenido por balancines colocados en las Torres a lo largo de toda la línea y por las poleas principales y de retorno ubicadas en la estación motriz y de retorno respectivamente. Para evitar que si vida útil se reduzca el cable

debe estar a la misma tensión en todo momento (independientemente de la carga de las cabinas) es por esto que se está conectada con un dispositivo hidráulico el cual regula su tensión mediante una fuerza de tracción. El cable se compone de cordones cuyo número de hilos depende del diámetro y la carga la cual es sujeta. El cable portador-tractor tiene las siguientes características:

- Tipo Lang: El trenzamiento de los hilos y el cableado de los cordones serán ejecutados en el mismo sentido. Esto permite que el cable presente hilos exteriores con una superficie de contacto mayor que el cableado cruzado, aumentando así su resistencia a la flexión.

- Preformado: Los hilos y los cordones son dispuestos de antemano, en la fabricación, con la forma que ocupan en el cable. Esta técnica permite realizar un cable inerte sin tensión, para facilitar la colocación y el empalme.

- Hilos paralelos: Los cordones se componen de capas de hilos paralelos. Lo que significa que todas las capas de cordones de hilos se colocan al mismo paso, alrededor del hilo central del cordón, para que los contactos entre los hilos y las capas sean lineales. Así se evitan las escotaduras que debilitan los cables. Por otra parte, los hilos de una capa superior están situados en los huecos existentes entre los hilos de la capa inferior, lo cual permite un rellenado máximo.

- Alma compacta: Alma de plástico formada en caliente bajo una tensión perfectamente calibrada. El cable se beneficia así de una estabilidad cuasi-definitiva, en diámetro y en longitud. Los cordones están perfectamente sujetos por el alma que lleva sus huellas; así se mantienen prácticamente aislados unos de otros y sólo ejercen una ligerísima presión entre sí.

b) Pinzas Desembragables: Encargadas de mantener en suspensión a los vehículos, a lo largo de la línea sujeta al cable portador-tractor y en las estaciones sujetas e impulsadas por neumáticos. La pinza está compuesta principalmente por:

1. Mordaza Fija
2. Mordaza Móvil
3. Polea de Desembrague
4. Muelles de Sujeción
5. Eje de conexión con suspensión de vehículo
6. Polea lateral
7. Polea de rodadura
8. Traviesa de arrastre
9. Agujas
10. Trompeta

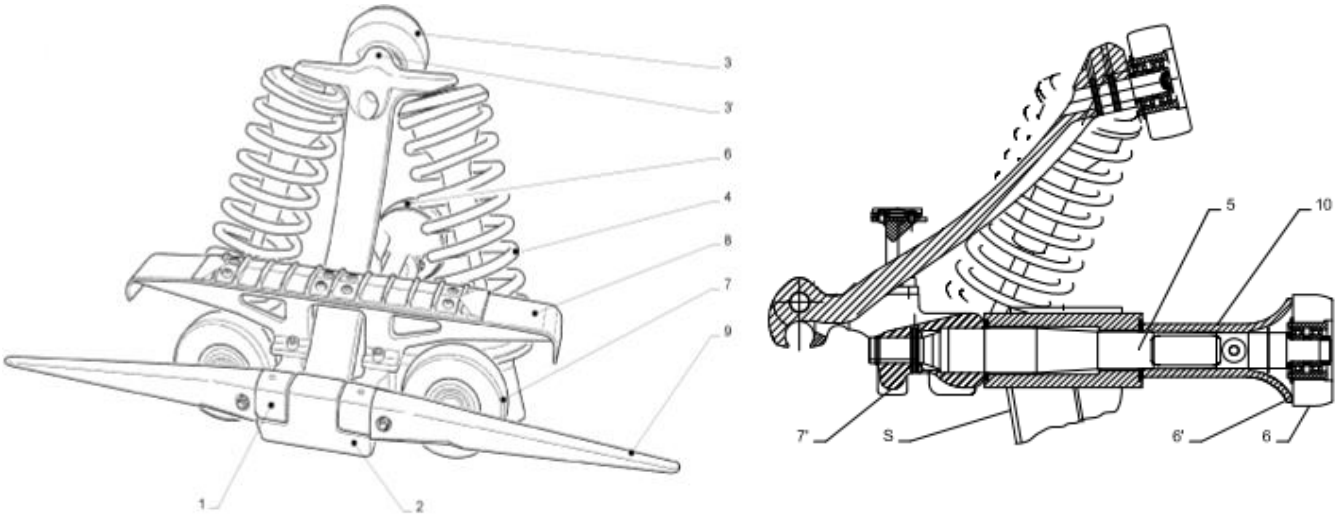

Figura 22: Pinza Desembragable

El funcionamiento de la pinza desembragable consiste en apretar el cable portador-tractor mediante la mordaza móvil que cambia de posición al entrar a cada estación, donde se separan las mordazas y la pinza suelta el cable, y salir de cada estación, donde las mordazas se juntan y se sujetan del cable nuevamente. Este accionamiento es debido a rampas que tienen contacto con la polea de desembrague para que la mordaza móvil se mueva según entre o salga de las estaciones. La pinza al soltar el cable portador-tractor al entrar a las estaciones tiene contacto directo con neumáticos los cuales ejercen presión sobre la traviesa de arrastre generando el avance de los vehículos por la estación hasta que la pinza se sujete al cable al salir, este avance se hace gracias a las poleas laterales y de rodadura. Los sistemas de suspensión de los vehículos se sujetan del eje de conexión de la pinza. Las agujas tienen contacto directo con el cable y estas facilitan el paso de los vehículos por los balancines de las torres protegiendo así el cable.

3.7.4 Dispositivos Mecánicos.

Dentro de los Dispositivos Mecánicos se establecen otras tres sub-divisiones en las que se encuentran:

a) **De Línea:** Dispositivos que se pueden encontrar a lo largo del recorrido de las cabinas una vez que ya hayan salido de una estación, específicamente los componentes que se encuentran en las líneas son:

- Torres: Estructuras que sostienen el cable y soportan el paso de las cabinas a lo largo de su recorrido.

- Balancines de línea: Dispositivos que se encuentran en las Torres cuya finalidad es dar estabilidad y dirección al cable tractor. Se pueden clasificar según la posición del cable respecto al balancín:

  - En Compresión: Cable tractor-portador pasa por debajo de las poleas.
  - En Soporte: Cable tractor-portador pasa por encima de las poleas.

En la Figura 23 se puede observar los componentes de un balancín de 8 poleas en soporte. Cada polea (1) gira en el extremo de una doble brida, para así formar un elemento de dos poleas (2). Un balancín está formado por una serie de elementos de dos rodillos, articulados en los extremos de dobles bridas (3) y, para algunos de ellos, de vigas (4). De esta manera, cada balancín se adapta automáticamente a los ángulos de deflexión del cable y a sus variaciones.

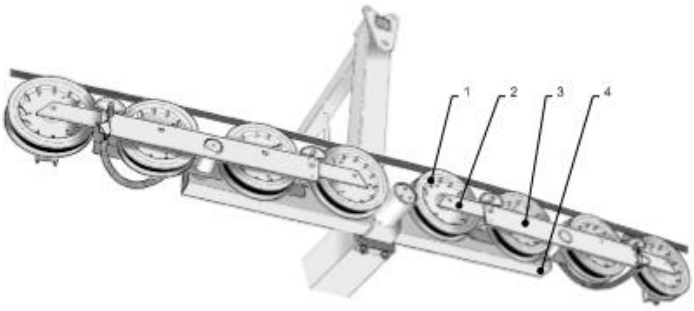

Figura 23: Balancín de 8 poleas en soporte.

- Elementos de Fijación en Torres: Elementos que sujetan los demás dispositivos que se encuentran en las Torres como pernos, ejes y tuercas. Además, elementos que permiten que el trabajo en altura se pueda realizar como barras se fijación.

- Dispositivos Electrónicos: Dispositivos electrónicos que se encuentran en la línea se pueden dividir en tres sub conjuntos:

  - Seguridad de balancines: Dispositivos que miden la distancia del balancín respecto su eje de posición inicial.

  - Detectores de Descarrilamientos: Dispositivos que detectan si el cable tractor- portador se descarrila.

b) **Grupo de Tensión:** Dispositivos que se encuentran en la estación de retorno cuya finalidad es mantener con tensión constante el cable tractor a lo largo de su vida útil, esto gracias a la presión hidráulica de cilindros. Dentro de los componentes principales se pueden encontrar:

- Carro de Tensión: Este carro sujeta y desplaza la polea de retorno por pistas de rodadura en la estación.

- Cilindro hidráulico: La tensión la efectúa un cilindro hidráulico el cual es sujeto por una parte a la estructura de la estación y por la otra al Carro de Tensión.

- Dispositivos de final de carrera: Existen dos finales de carreras, uno del cilindro hidráulico y otro del carro de tensión.

- Central hidráulica: Esta es la que alimenta al cilindro hidráulico con aceite para que ejerza la presión hidráulica. Está compuesta principalmente por un deposito, una bomba, válvulas, filtros, manómetro, cubeta de recuperación, limitador de presión, presostato, entre otros.

c) **De Estación:** Dispositivos que se encuentran en las estaciones motriz, intermedias o de retorno que no estén ya incorporadas en otro sub-sistema. Dentro de estos dispositivos se pueden encontrar principalmente:

- Volantes o Poleas Principales: Poleas que transmiten movimiento hacia el cable tractor, estas se ubican en: una en la estación motriz conectada al reductor de velocidades y la otra en la estación retorno la cual se mueve solidariamente con el cable tractor y está conectada al Grupo Tensión.

- Poleas: Poleas de distintos tamaños se ubican en la salida y entrada de las estaciones permitiendo así la aceleración o desaceleración de las cabinas al salir y entrar a las estaciones respectivamente. Además, hay poleas horizontales que permiten que cable tractor no se descarrile.

- Correas de Transmisión de Potencia: Correas que transmiten potencia a través de las poleas.

- Engranajes: Transmiten potencia donde la cabina va a menor velocidad durante su paso por la estación, es decir, se ubican donde la cabina cambia de sentido por lo que se encuentran solo en la estación motriz y de retorno, no en las estaciones intermedias.

- Neumáticos: Se encuentran a lo largo de todo el recorrido de las cabinas por la estación, estos ejercen presión sobre la pinza para que cabinas avancen por las estaciones. Los neumáticos están conectados a poleas o engranajes que generan el movimiento hacia los neumáticos.

- Cadenciador: Dispositivo electrónico conectado a poleas que permiten que el paso de las cabinas una de la otra sea constante, es decir que mantengan una cierta distancia constante una de la otra a lo largo de su operación. Se ubica luego de las poleas que desaceleran las cabinas a la entrada de la estación motriz y antes del comienzo de los engranajes, así permite acelerar a las cabinas cuando sea necesario.

- Sensores: Existe una gran diversidad de sensores electrónicos los cuales se encuentran:
    - Sensores para la detección de posición de pinzas de freno
    - Sensor para la detección de posición de freno de polea
    - Sensor para la detección fin de carrera de cierre puerta
    - Sensores de velocidad entrada de cabina a la estación.
    - Sensores de posicionamiento de cable tractor.

- Estructura: Infraestructura que sujeta y mantiene el resto de los dispositivos y componentes.

4. Discusión de Resultados

4.1. Normas y Estrategia.

A continuación, se destacan los puntos más relevantes a cumplir y las directrices que se deben seguir según las normas europeas vigentes UNE-EN. Es necesario notar que solo se consideran las normas y puntos que más injieren en el mantenimiento de un Teleférico y no la totalidad de la norma.

4.1.1 UNE-EN 1709: Examen previo a la Puesta en Servicio, Mantenimiento y Controles de Operación.

Definiciones:

- **Inspección:** Conjunto de operaciones destinadas a constatar y evaluar el estado efectivo de la instalación y sus constituyentes.
- **Controles de Operación:** Operaciones destinadas a verificar el buen estado de marcha de la instalación antes y durante la operación.
- **Prueba de Funcionamiento:** Funcionamiento de una duración determinada en el curso del cual es controlada la marcha correcta de la instalación.
- **Disponibilidad de la Operación:** Estado de instalación donde las condicione funcionales técnicas y de seguridad se cumplen para permitir el transporte de las personas.

Factores de Riesgo:

- Funcionamiento defectuoso de los diferentes elementos en su relación entre ellos y/o en su entorno local.
- Defectos consecutivos en una operación de la larga duración o de paros prolongados o en una operación intensiva.
- Empleo de personal insuficientemente calificado y evaluado.
- Operación cuando la instalación y sus elementos se encuentran en un estado defectuoso.
- Ausencia de medidas de mantenimiento o el restablecimiento del estado especificado de la instalación y de sus elementos
- Ausencia o no respeto de un procedimiento.

Generalidades de Mantenimiento:

- Se debe elaborar un Plan de Mantenimiento y mantenerlo actualizado, teniendo en cuenta inspecciones y operaciones de mantenimiento periódicas.
- Operaciones de mantenimiento deben ser enumeradas en las listas de control, que convierten los valores de referencia y tolerancias admisibles, así como también las frecuencias de las sustituciones de componentes.
- Deben indicarse criterios de aceptación de los defectos en los controles visuales y ensayos no destructivos.
- Informes de cada operación de mantenimiento debe estar firmado por quien lo realiza.
- Las piezas de recambio necesarias deben estar disponibles en cantidad suficiente y en buen estado en la proximidad inmediata a la instalación y almacenadas en condiciones adecuadas.
- Aparatos de elevación deben mantenerse en buen estado e indicar carga admisible.
- Conservación de componentes comprende la limpieza, protección, lubricación, rellenado, sustitución y ajuste de componentes.
- La inspección comprende la medición y evaluación del estado actual de la instalación. Las inspecciones deben realizarse en intervalos de tiempo mensual, anual o plurianuales, además se deben realizar Grandes Inspecciones después de ciertas horas de funcionamiento. Se pueden realizar inspecciones complementarias.
- Dentro de las inspecciones mensuales se deben tener en cuenta: cable portador-tractor, rodillos, poleas, dispositivos de entrada, paso y salida de vehículos en estaciones, frenos, detectores de sobre-velocidad y antiretorno, embrague de pinzas, almacenamiento de piezas de recambio y elementos de protección de trabajadores.
- Dentro de las inspecciones anuales se deben tener en cuenta soldaduras de las estructuras, pernos de anclaje y tirantes, ensayos funcionales de motores, cardan y frenos, dispositivos mecanismos de estaciones y de puesta de tensión, pruebas no destructivas a cables, ensayos funcionales de agarres y deslizamiento de pinzas, dispositivos de apertura y cierre de puertas de cabinas.

- Dentro de las inspecciones generales se deben realizar ensayos no destructivos a todos los elementos de seguridad del sistema que están sometido a fatiga y estructurales. Estas inspecciones se deben realizar cada 7.500 horas, 15.000 horas y 22.500 horas de funcionamiento o sin exceder 5, 10 y 15 años respectivamente.
- Las pinzas como elementos critico debe someterse a inspección después de 3.000 horas de funcionamiento o exceder no más de 2 años y se le debe realizar ensayo no destructivo después de 9.000 horas de funcionamiento o no exceder los 6 años

Reparación:

- La sustitución de componentes debe realizarse según normas y seguida de ensayos funcionales. Se debe dejar registrado, archivado y se debe certificar que el trabajo se realizó en conformidad con las reglas aplicables según el fabricante. Se debe informar inmediatamente a la dirección de operación.
- Se deben utilizar a lo menos piezas de recambio equivalentes en lo que concierne a materiales, forma y funcionalidad.
- Antes de iniciar una reparación de cualquier deterioro es necesario determinar la causa y en la medida de lo posible eliminarla previamente.

Controles de Operación:

- Debe ponerse especial atención a cualquier circunstancia que no permita una normal operación.
- Es necesario controlar durante la operación: tensión e intensidad de accionamientos eléctricos, rotación de poleas y rodillos en estaciones, estado de zona de embarque y desembarque, vehículos.
- Se debe registrar por escrito y archivarse resultado de controles de operación de mantenimiento y de operaciones realizadas.

4.1.2 UNE-EN 12408: Aseguramiento de la Calidad

Definiciones:

- **Procedimientos:** Conjunto de medios, personal, materiales, métodos o modos operativos necesarios en el control y ensayos de los constituyentes.
- **Documentación:** Conjunto de documentos que describen de manera completa y detallada los procedimientos.
- **Documento de Trazabilidad de la Ejecución:** Documento que refleja la historia de la ejecución de todo o parte de un procedimiento de inspección, ensayo y controles.
- **Especificaciones:** Documento que define el conjunto de los requisitos particulares de inspección y de mantenimiento que deben ser respetadas.
- **Trazabilidad de Localización:** Aptitud para determinar la localización de un constituyente a través de su identificación.
- **Plan de Calidad:** Documento que define todas las disposiciones específicas concernientes a la calidad y relativa a los procedimientos de operación, a los recursos y a la secuencia de actividades de inspección y mantenimiento.

Requisitos Generales:

- Se debe establecer y tener permanente al día los procedimientos que permitan asegurar: trazabilidad garantizada, identificación de documentos técnicos y que no exista de error de transporte o entrega.
- Un plan de ensayos que precise con detalle los ensayos a realizar durante cada fase.
- Se debe definir autoridades responsables en cada etapa de mantención.
- Se debe precisar medidas tomadas para asegurar que la mantención sea estrictamente conforme a su concepción y que las exigencias particulares precisadas en las especificaciones no puedan ser modificadas sin la aprobación de los que la han establecido.
- Se debe precisar el contenido de los documentos de seguimiento de la ejecución relativos a los constituyentes de seguridad y condiciones en las cuales deben mantenerse y archivarse.

- Plan de Calidad debe precisar las autoridades responsables de su aprobación, difusión y de sus modificaciones.

4.1.3 Estrategia de Mantenimiento

A partir de las dos normas anteriormente resumidas y sus conceptos claves mencionados se puede inferir que tipo de estrategia de mantenimiento se debe llevar según norma. A continuación, en la Figura 24 se pueden observar los cuatro lineamientos principales con que se debe regir el área de mantenimiento:

Figura 24: Lineamientos Norma UNE-EN 1709

Como se puede observar, los lineamientos se orientan principalmente hacia una Estrategia de Mantenimiento Preventivo-Predictivo. Esto se debe a que la norma exige reiteradamente realizar inspecciones visuales periódicas como también el estudio de componentes críticos en mientras el sistema está en operación, esto al realizar seguimiento con toma de datos y analizar su comportamiento en el tiempo y realizar pruebas no destructivas. Además, se generalmente cumplir cierta Disponibilidad en cuanto se refiere a días de funcionamiento del Teleférico (establecido por el fabricante), por lo que es necesario introducir conceptos de gran que son de gran ayuda para cumplir con dicha disponibilidad como lo son la Mantenibilidad, Confiabilidad y Criticidad, que

de manera breve se pueden resumir en conjunto como ‘’ ¿Cuan preparados se está para realizar el mantenimiento eficientemente?’’. Por último, se recalca que es necesario disminuir o eliminar los principales riesgos considerados por la norma, estos son: Fallas de Componentes, Defectos Consecutivos de componentes o procedimientos, Personal de mantenimiento no calificado, entrenado o apto para realizar actividades de mantenimiento y por último la ausencia o no seguir los procedimientos establecidos.

Por otro lado, se tienen los lineamientos principales de la norma de Aseguramiento de la Calidad en cuanto respecta a Mantenimiento y Operaciones. En la Figura 25 se pueden observar los tres principales lineamientos: Procedimientos y Documentación, Trazabilidad y Plan de Calidad:

Figura 25: Lineamientos Norma UNE-EN 12408

Como se puede observar los alineamientos principales le dan gran énfasis a que tan bien se realizan las actividades de mantenimiento con la ayuda de procedimientos completos y eficaces, con la trazabilidad de Documentación de lo que se realiza en cuanto al mantenimiento y finalmente un Plan de Calidad que contengan los puntos mencionados como también que explicite responsabilidades de las actividades de mantenimiento, la eficiente secuencia de actividades y/o procesos de mantenimiento y el cumplimientos de estos.

Finalmente, se puede concluir que la estrategia de mantenimiento para un teleférico basado en la norma UNE-EN es una estrategia que busca prevenir fallas o defectos a través de inspecciones visuales, cambio de componentes cada cierta hora de funcionamiento como también busca predecirlas mediante el seguimiento y estudio de datos que reflejan comportamiento de componentes críticos, sumando un lineamiento que establece que se debe eliminar la causa raíces de fallas o fallas potenciales. Además, la estrategia debe considerar, controlar y en el mejor de los casos eliminar los factores de riesgos mencionados anteriormente. Adicionalmente, la estrategia de mantenimiento debe tener un plan de calidad el cual asegure que el 'como' realizar una actividad sea de una manera eficiente y segura como también sean conforme a las exigencias del fabricante del Teleférico. En la Figura 26 se observa los pilares de la Estrategia de Mantenimiento de un Teleférico según las normas UNE-EN 1709 y 12408:

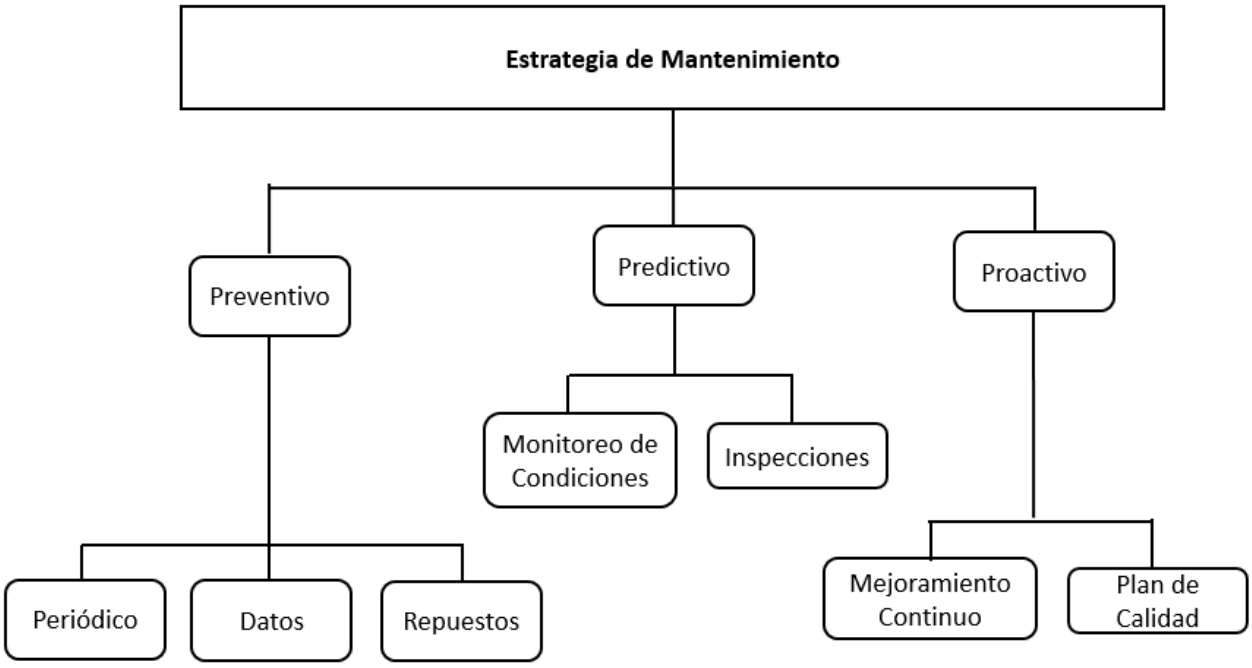

Figura 26: Estrategias de Mantenimiento en Teleféricos a partir de Normas UNE-EN.

4.2. Componentes Críticos de un Teleférico y Ensayos No Destructivos

Mediante la metodología de una Matriz de Criticidad (Ver 8.4.1) y con la cooperación de técnicos e ingenieros especializados y con experiencia en sistemas Transporte por Cable se realizó la Tabla 9, la cual muestra la ponderación de criticidad de los principales componentes de un Teleférico:

Tabla 9: Criticidad de Componentes de por sub-sistemas.

Sub-Sistema	Componente o Mecanismo	Frecuencia (10-2)	Impacto Operacional (8-1)	Flexibilidad Operacional (4-1)	Costos (8-1)	Seguridad y MA (10-2)	Total	Criticidad
Vehículos	Estructura	2	2	1	2	4	18	No Crítico
	Control Interno y Externo de Puertas	4	4	2	2	8	64	Semi Crítico
	Porta Bicicletas	2	2	1	2	1	12	No Crítico
	Carro de Mantenimiento	2	4	4	2	10	72	Semi Crítico
Equipo Motor y Freno	Motor Principal	2	8	4	8	6	160	Super Crítico
	Freno de Disco	2	8	4	8	6	160	Super Crítico
	Reductor	2	8	4	8	6	160	Super Crítico
	Cárdan	2	8	4	8	6	160	Super Crítico
	Grupo Electrógeno	2	6	2	8	10	132	Crítico
Cable Tractor-Pinzas	Cable	2	8	4	6	10	176	Super Crítico
	Pinzas	2	8	4	6	10	176	Super Crítico
Dispositivos Mecánicos De Estación	Estructura	2	6	2	2	2	48	No Crítico
	Neumáticos	4	4	1	6	4	60	Semi Crítico
	Correas de Movimiento	4	6	2	4	4	84	Semi Crítico
	Freno de Emergencia	2	6	2	8	6	108	Crítico

		Central Hidráulica de Control de Freno	2	6	2	6	6	**96**	**Semi Crítico**
		Polea Principal y Retorno	2	8	4	8	4	**144**	**Super Crítico**
		Poleas Toma de Movimiento	4	6	2	6	6	**108**	**Crítico**
		Vías de Desembrague-Embrague de las pinzas	2	6	2	4	4	**72**	**Semi Crítico**
		Engranajes	2	6	2	6	2	**72**	**Semi Crítico**
		Cadenciador	4	6	2	8	6	**120**	**Crítico**
	De Línea	Torres	2	4	4	6	4	**64**	**Semi Crítico**
	De Línea	Balancines	2	6	2	8	6	**108**	**Crítico**
	De Tensión	Carro de Tensión	2	6	2	6	4	**84**	**Semi Crítico**
	De Tensión	Central Hidráulica de Control de Freno	2	6	4	8	4	**108**	**Semi Crítico**
	De Tensión	Cilindro Hidráulico	2	8	4	6	4	**128**	**Crítico**

Como se puede ver los sub-sistemas de **''Equipo Motor y Freno''** y el mecanismo **''Pinzas y Cable Tractor''** son considerados como **Super Críticos**. Es importante notar que un componente considerado No Critico, no significa que no se le deba hacer mantenimiento o de manera incompleta, sino que, son componentes que al tener falla o no cumplir con la calidad, sus consecuencias no repercuten de gran manera en comparación de otros componentes más críticos. Llevar una ponderación de criticidad de los componentes es muy importante ya que esta misma puede ser utilizada al momento de **priorizar las intervenciones de mantenimiento que no se realizan y quedan pendientes.**

De acuerdo a lo expresado en la Tabla de Criticidades, se puede ver que va en el mismo alineamiento a lo que expresan las normas UNE-EN (Ver conjunto de Normas en Anexo 11.1) en

cuanto a los ensayos no destructivos que se le deben a hacer a componentes más críticos los cuales se pueden ver resumidos en la Tabla 10:

Tabla 10: Ensayos No Destructivos

Activo	Componente	Monitoreo
Motor Principal	Rodamientos	Vibraciones
	Rotor	Termografía
Reductor	Engranajes	Vibraciones / Termografía
	Rodamientos	
	Estructura	
	Lubricante	Análisis de Lubricante
Generadores	Estructura / Rodamientos	Vibraciones
		Termografía
Balancines y Poleas	Poleas	Desplazamiento
Torres	Torres	Vibraciones
Central de Tensión	Sistema Hidráulica	Presión
		Análisis de Lubricante
Cable Tractor	Hilos	Magnetografía
Estaciones	Estructuras	Vibraciones
Pinzas	Pinzas	Elaborado por Suministradores

Se puede ver que la técnica de monitoreo que más se repite son las de Vibraciones, Termografía y de Análisis de Lubricante, las cuales justamente se realizan en componentes muy críticos o críticos como lo son el Motor Principal, el Reductor y la Central de Tensión por lo que se recomienda que estos monitorios no sean tercerizados a empresas externas y las realice la propia empresa cumpliendo estrictamente las indicaciones del fabricante en cuanto al método de intervención y periocidad. También, recalcar que los ensayos no destructivos del Cable (componente igualmente muy crítico), la Magnetografía, se debe realizar conforme a las Normas UNE-EN 12927-7 y UNE-EN 12927-8 y el de las Pinzas las debe realizar el suministrador de la Pinzas después de las 9000 horas de funcionamiento, pero sin sobrepasar los 6 años como sale estipulado en la Norma UNE-EN 1709.

4.3. Monitoreo en Operación y Control de Componentes.

Dentro de los lineamientos principales de la Norma UNE-EN se encuentra el control operacional mediante seguimientos a componentes principales. Este tipo de seguimiento (operacional) se puede realizar mediante pruebas no destructivas (mencionadas anteriormente) o análisis de datos de medición instantánea entregados por Panel de Control (o también llamado Autómata), ambos métodos son complementarios y necesarios según dicha norma. En la Tabla 11 se encuentran las principales mediciones que entrega el panel de control de los componentes más críticos, acompañado también de los valores teóricos de las mediciones entregados por los fabricantes de los componentes:

Tabla 11: Mediciones Panel de Control Teleférico

COMPONENTES	MEDICIÓN	VALOR TEÓRICO
REDUCTOR	Temperatura Reductor	70[ºC] (Alarma) – 80 [ºC] (Falla)
	Motor 1	---
	Par Max.	144%
	Variación Máxima	59%
VARIADORES (MOTOR)	Valor Tensión Red Alimentación	380 a 420 [V]
	Valor Tensión Red Variador	400 a 600 [V]
	Velocidad Motor	400 a 1.500 [rpm]
	Corriente del Motor	530 [A]
	U Rotor (Voltaje Rotor)	380 a 420 [V]
	Potencia del Motor	Max. 340 [kW]
	Temperatura Alimentación	---
	Temperatura Variador	Max. 75º
CABLE TRACTOR	Sonda 1	365 a 445 [kN]
	Sonda 2	
	Tensión Media	
BATERIAS	Motriz 24VA	22,8 [V]
	Motriz 24VB	
	Inter - 13	
	Retorno	
PESAJE PINZAS	Umbral Mínimo de Falla	350 [daN]

Dichas lecturas de mediciones en el panel de control se recomiendan que las realice el operador del sistema (llamado Conductor según norma) el cual se encuentra en el mismo lugar del panel del control y se recomienda que se hagan 3 a 4 mediciones por días, según afluencia de público a Teleférico o acontecimiento importante (sismo, lluvias, extremas, nevazón, etc.), esto para tener mayor detalle del comportamiento de los componentes a mayor carga o situaciones extremas. En la Tabla 11 (Ver Anexo 2) se puede ver extracto de mediciones realizadas a reductor (se reserva entregar información confidencial de mediciones de componentes), en la cual se observa el promedio, variación estándar, limite central inferior (LCI) y limite central superior (LCS), valores que ayudan a entender de mejor manera el comportamiento de los componentes, predecir posibles tendencias de anomalías y eliminar posibles fallas.

A partir de las lecturas de mediciones y los valores que se obtienen de promedio, desviación estándar, LCI y LCS se pueden realizar las Cartas de Control para tener un mejor análisis del comportamiento de los componentes y tener una **mejor toma de decisiones** adecuada respecto a estas en cuanto a las intervenciones de mantenimiento. En las Figuras 27, 28, 29, 30 y 31 se pueden observar el comportamiento de ciertos componentes muy críticos como lo son Reductor, Motor Principal, Cable Tractor y Pinzas en ciertas características principales de estos. Se puede ver en los gráficos líneas rojas las cuales representan los límites establecidos por los fabricantes de los componentes y las líneas azules que representan los limites centrales superiores e inferiores del proceso en sí mismo en cuanto a calidad (Ver sección 8.4.6). A continuación, se presentan dichos gráficos (Ver Anexo 3) para ver resto de gráficos):

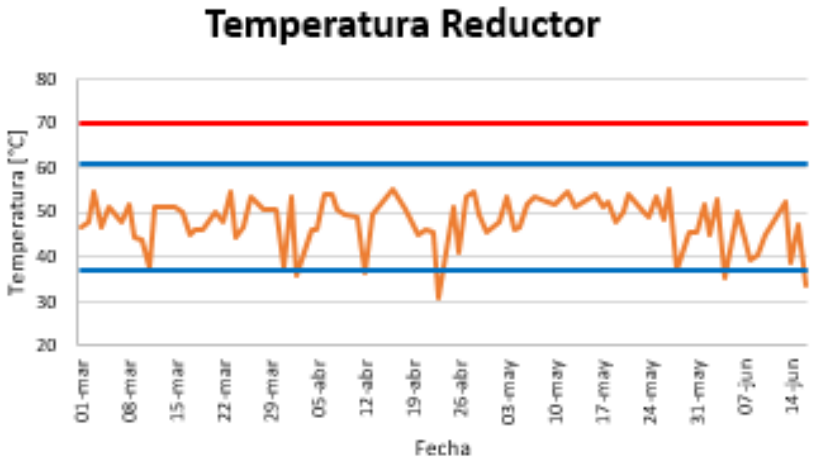

Figura 27: Comportamiento de Temperatura en Reductor en el tiempo.

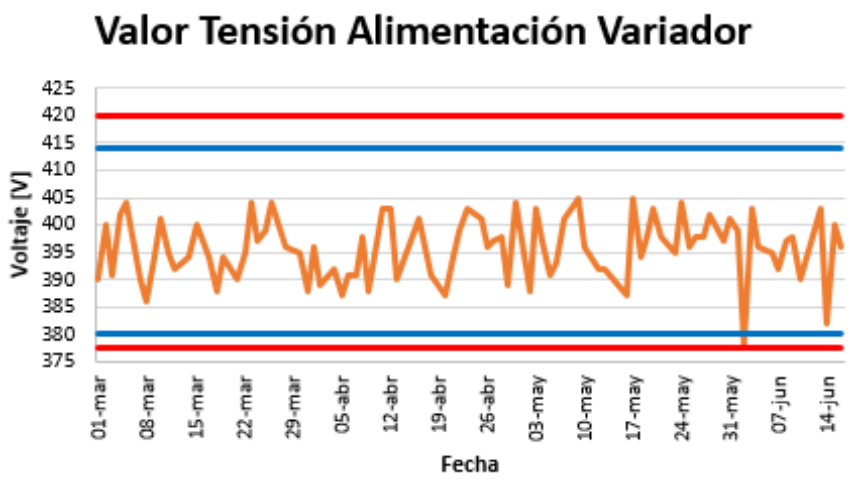

Figura 28: Comportamiento de tensión de alimentación variador.

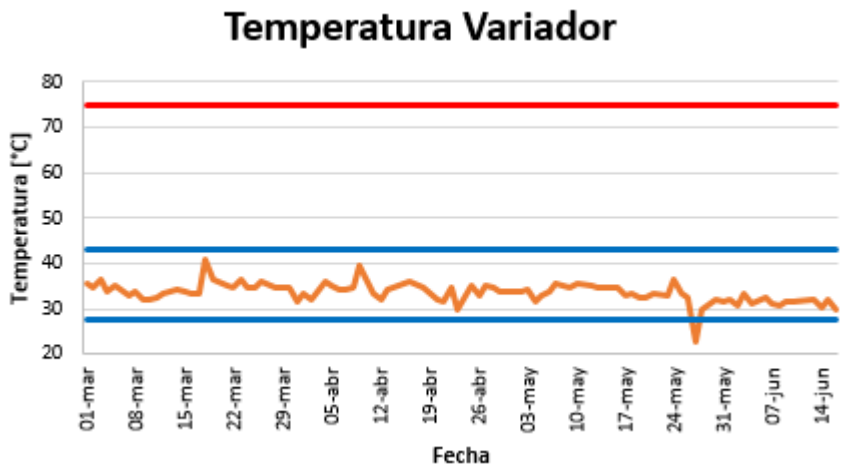

Figura 29: Comportamiento temperatura variador en el tiempo.

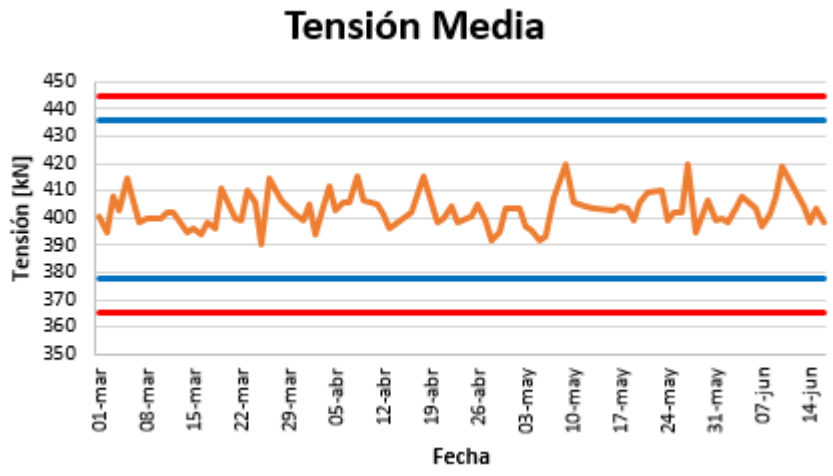

Figura 30: Valores de tensión media de Cable-Tractor en el tiempo.

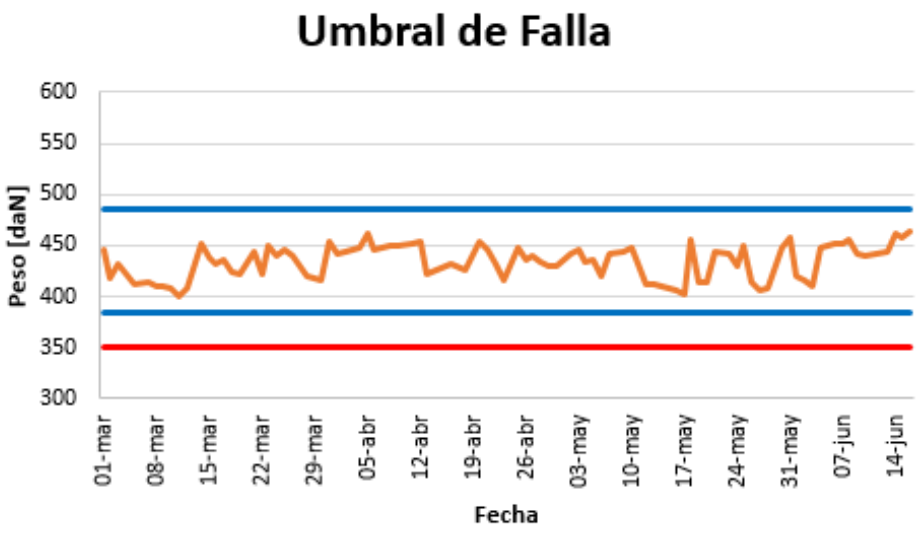

Figura 31: Comportamiento pesaje de pinzas en el tiempo.

Como se puede observar en los gráficos, el comportamiento de los componentes a lo largo del periodo de medición (01/03/2017-14/06/2017) está dentro de los límites establecidos por el fabricante, sin embargo, en algunos de estos se puede que algunas mediciones esta fuera de los limites estadísticos del proceso como lo son el caso Temperatura del Reductor; Tensión de alimentación del Motor y Temperatura del Motor. En el caso de la temperatura del reductor se debe a una **alta variabilidad** de la temperatura, mientras que en el caso de la temperatura del motor se debe a **una tendencia hacia abajo** de la temperatura en su operación, por otro lado, se tiene el caso de la Tensión de Alimentación del Motor que no solo sobrepasa el LCI, sino que bordea el límite establecido inferior por **un punto que se aleja de las mediciones promedio.** Estos tres comportamientos de los componentes merecen análisis lo cual se realizará con los Diagramas de Ishikawa (Ver sección 9.4).

Además, de ver el comportamiento de los componentes en el tiempo con las mediciones se puede obtener los **Índices de Capacidad de Proceso** que son un indicador que permiten saber el grado de satisfacción con que se cumple las especificaciones establecidas por los fabricantes. Los resultados de estos índices se ven en la Tabla 12 donde se especifica su tipo de índice, el valor de este y la interpretación que se la dicho valor. Como se ve en dicha tabla, gran parte del comportamiento de las funciones de los componentes son Excelentes o Adecuados respecto a lo estipulado por el fabricante, no obstante, la Tensión de Alimentación del Motor es Parcialmente Adecuado (como se podría haber esperado según su gráfico) y derechamente los valores tomados

en la Velocidad y Voltaje del Motor son No Adecuados lo cual merece análisis y para determinar la causa de estos valores y/o comportamiento. A continuación, se presenta la Tabla 12 con los valores de los Índices de Capacidad y su interpretación:

Tabla 12: Valores Índices de Capacidad de componentes en seguimiento.

Componentes	Medición	Tipo de Índice	Valor Índice	Interpretación
Reductor	Temperatura	Cps	1,74	Adecuado
	Par Max.	Cps	2,48	Excelente
	Variación Max.	Cps	1,94	Adecuado
Motor	Tensión Alimentación	Cp	1,10	Parcialmente adecuado
	Tensión Motor	Cp	43,58	Excelente
	Velocidad	Cp	0,84	No adecuado
	Corriente	Cps	3,81	Excelente
	Voltaje	Cp	0,89	No adecuado
	Potencia	Cps	3,23	Excelente
	Temperatura	Cps	5,22	Excelente
Cable Tractor	Tensión 1	Cp	2,02	Excelente
	Tensión 2	Cp	2,21	Excelente
	Tensión Media	Cp	2,17	Excelente
Baterías	Motriz	Cpi	27,63	Excelente
	Intermedia	Cpi	12,15	Excelente
	Retorno	Cpi	19,74	Excelente
Pinzas	Umbral Fallas	Cpi	1,64	Adecuado

4.4. FMECA y Diagramas de Ishikawa.

Como se mencionó anteriormente, dos herramientas importantes para un mejor entendimiento del sistema, sus fallas, sus causas y por qué se originan estas son el FMECA y Diagrama de Ishikawa. Una ventaja de utilizar estas herramientas es mantener los riesgos establecidos por norma controlados y minimizados, ya que abarca los cuatro principales lineamientos de riesgo: fallas, mano de obra, defectos y procedimientos.

El FMECA no se debe enfocar en la totalidad de los componentes, sino que se debe implementar en los más críticos en cuanto a frecuencia de fallas e importancia operacional (Ver sección 9.2) esto es debido a la gran cantidad de información que se debe investigar para realizar un FMECA de un componente (no es recomendable recolectar información que no se utiliza o es irrelevante). En la Tabla 13 se un FMECA realizado para el componente de Correas de Transmisión de Potencia

y Movimiento ubicadas en las estaciones y las que transmiten la potencia de las poleas que por consecuencia provocan el avance de las cabinas en el paso de las estaciones. En color amarillo se la causa de falla más común, particularmente en este caso son las baja o exceso tensión de las correas como también las vibraciones que están tienen. Esto quiere decir que a partir de estas 3 causas de fallas se formen la mayor cantidad de modos de fallas (forma en que falla un componente). Es recomendable que se realice un FMECA para cada componente muy crítico o crítico para dejar explicito las principales causas de falla y tener controlados los riesgos. Es importante señalar que esta herramienta se debe implementar junto a las indicaciones estipulas en el manual del fabricante en cuanto a las intervenciones de mantenimiento, ya que el FMECA es un complemento que apoya la creación de procedimientos, control de riesgos y disminución de fallas, tres aspectos estipulados en la norma europea.

Por el otro lado, en la Figura 32 se ven las 6M de una actividad de monitoreo de condiciones que agregan mayor variabilidad. Se recomienda que al hacer seguimiento a componentes se analicen cada una de estas variables, por ejemplo, de la Figura 29 un factor que podría ser responsable de la tendencia hacia la baja sea la disminución de temperatura del medio ambiente como en la Figura 28 el punto fuera de limites podría ser un error de lectura de datos o el muy bajo índice de capacidad (Ver Tabla 12) podría ser explicado por un mal criterio de aceptación de límites por parte del fabricante (Ver Figuras de Anexo 3). Así, al controlar estos factores se tiene nuevamente una mejor manera de encontrar posibles fallas, controlar riesgos y mejorar procedimientos.

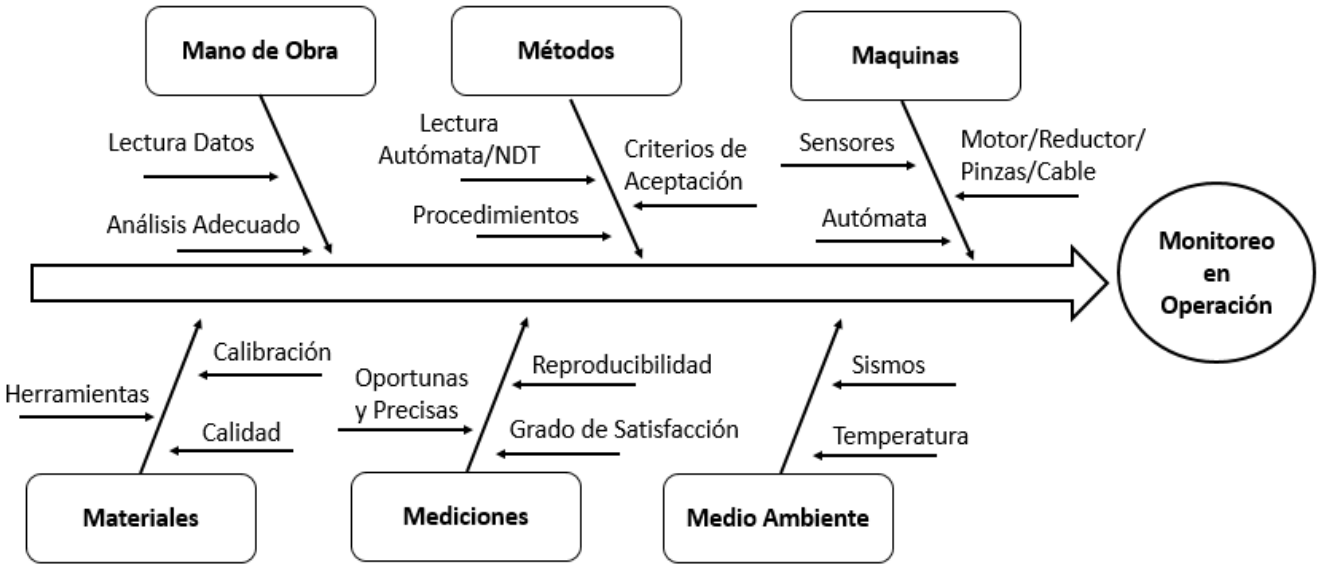

Figura 32: Diagrama de Causa-Efecto con las 6M de Monitoreo de Condiciones.

Tabla 13: FMECA de Correas Transportadoras.

Análisis de Modos de Falla, Efectos y Criticidad (FMECA)

Consecuencia: H = Oculta; S = Seguridad; A = Ambiental; O = Operación; N = No Operacional

Severidad de Seguridad: 1 = Sin Lesión; 2 = Lesión Leve; 3 = Incapacidad; 4 = Muerte

Criticidad: 1 = Insignificante; 2 = Menor; 3 = Mayor; 4 = Alta

Realizado por: Lucas Meyer F.	Empresa:	Activo Fisico	Función:
Fecha:		CORREAS DE TRANSMISIÓN	Transmición de Potencia y Movimiento
Verificado por:	Observaciones: Revisión 0		

Sistema : Dispositivos Mecanicos en Estaciones

Detalle:

Nº	Conjunto	Modo de Falla	Causa de Falla	Cómo: Súbita/ Gradual/ Vida Útil	Cuándo: Predecible / Aleatorio	Efectos de Falla: Consecuencias = C ; Severidad = S ; Criticidad = Cm	TMPR (horas)	C	SS	Cm	Tarea de Mantenimiento	Ejecutor	Obs
		Desprendimiento de correas respecto a poleas	Desalineamiento de poleas	Gradual	Aleatorio	Correa puede desprenderse totalmente de las poleas y dejar de transmitir movimiento. Correa puede causar daños a las instalaciones o trabajadores		O	1	3	Alinear poleas	Mecánico	
			Baja tensión	Súbita	Predecible			O	1	3	Tensar correas	Mecánico	
		Perdida de Elasticidad (Estiramiento)	Exceso de tensión	Vida Útil	Predecible	Perdida de capacidad transmitir movimiento y la correa podria llegar a endurecerse y luego quebrarse.		O	1	2	Cambiar correa	Mecánico	
			Grandes cambios de temperatura	Gradual	Predecible			O	1	2		Mecánico	
		Chillido excesivo	Baja tensión	Gradual	Predecible	Ruidos molestos para trabajadores y turistas que podrian reclamar. Puede que tenga menor capacidad de transmición		S	1	1	Aumentar tensión de correas	Mecánico	
			Vibraciones excesivas	Gradual	Predecible			O	2	3	Realizar prueba no destructiva	Mecánico	
			Deslizamiento de correa	Gradual	Aleatorio			S	1	1	Cambiar correa	Mecánico	
			Exceso de carga por el paso de cabinas	Subita	Predecible			O	1	4	Controlar peso de cabinas	Mecánico	
			Insuficiente contacto de arco entre correa y polea	Gradual	Predecible			S	1	1	Estudiar posibilidad de rediseñar polea de disminuir el radio de poleas	Mecánico	
		Deslizamiento con poleas	Exceso de tensión	Gradual	Predecible	Menor capacidad de transmisión de movimiento y desgaste excesivo de correas		O	1	2	Disminuir tensión	Mecánico	
			Goma gastada	Vida Util	Predecible			O	1	2	Cambiar correa	Mecánico	
		Desgaste	Vibraciones excesivas	Gradual	Predecible	Perdida de material de correa genera menor transmision de movimiento		O	1	3	Realizar prueba no destructiva	Mecánico	
			Deslizamiento de correa	Gradual	Aleatorio			O	1	3	Tensar correa	Mecánico	
			Poleas gastadas o suciedad	Gradual	Predecible			O	1	3	Sustituir polea	Mecánico	
		Endurecimiento	Exceso de tensión	Vida Útil	Predecible	Inminente rotura de la correa		O	2	2	Cambiar correa	Mecánico	
			Alta temperatura en ambiente de transmisión	Súbita	Aleatorio			O	2	2	Mejorar ventilación de ambiente	Mecánico	
		Grietas o Roturas	Vibraciones excesivas	Gradual	Predecible	Deja de transmitir movimiento lo que podria detener el sistema y puede provocar accidentes		O	3	3	Realizar prueba no destructiva	Mecánico	
			Grandes variaciones de temperatura	Gradual	Predecible			O	3	3	Limpiar y cubrir correas para que no entren elementos externos	Mecánico	
2	Dientes	Desprendimiento respecto a la banda	Exceso de tensión	Súbita	Predecible	Menor agarre con la polea lo que genera menor capacidad de transmisión de movimiento		O	1	2	Cambiar correa	Mecánico	
			Fatiga de material	Vida Útil	Predecible			O	1	2	Cambiar correa	Mecánico	
		Dientes dañados, desgastados o rotos	Baja tensión genera mayor impacto en dientes	Gradual	Predecible	Menor capacidad de transmisión de movimiento		O	1	2	Cambiar correa	Mecánico	
			Elemento extraño se aloja entre los dientes	Gradual	Predecible			O	1	2	Cambiar correa	Mecánico	

4.5 Repuestos Críticos y Almacenamiento.

Un correcto almacenamiento de herramientas, lubricantes y repuestos es clave para el orden y la fluidez con que se realiza el mantenimiento. Tiene que cumplir con que sea **ordenado, limpio y de fácil acceso.** Esto es de suma importancia para no perder tiempo en las intervenciones de mantenimiento. En la Tabla 14 se observa los principales requerimientos, ítems que debe haber en el lugar de almacenamiento y las actividades que se debe realizar para que el almacenamiento del área de mantenimiento sea eficiente, es decir, no se pierda tiempo en las intervenciones de mantenimiento por causa de un mal desempeño en el área de almacenamiento:

Tabla 14: Requerimientos de Almacenamiento

Requerimientos	**Ítems**	**Actividad**
Orden	Repuestos	Administrar
Limpieza	Materiales o Insumos	Mantener
Fácil Acceso	Herramientas	Etiquetar
Sin Burocracia	Equipos de Izaje	Control de Inventario

Con estos principales alineamientos es que el almacenamiento debe asegurar agregar valor al proceso de mantenimiento entregando lo que se desea en buenas condiciones y de manera rápida como también controlar todo lo que ingresa y sale de este. Se debe considerar la mantención y manejo de lubricantes y aceites que se requieren frecuentemente en las intervenciones de mantenimiento y estos deben ser los estipulados por los fabricantes de los componentes al igual que los repuestos a utilizar, de otro modo es posible perder la garantía estipulada por el fabricante y aumentaría el riesgo de una posible causa de falla. A continuación, en la Tabla 15, se presenta un extracto de los repuestos más críticos acorde a los componentes más críticos expuestos anteriormente como también los insumos de mayor rotación (ver Anexo 4).

Tabla 15: Repuestos Críticos (extracto)

Sub-Sistema	Componente	Repuestos
Motor y Freno	Motor Principal	Filtro de Aire
		Sensor de Temperatura
	Reductor	Sonda PT (Sensor de Temperatura)
	Freno	Pasta de Freno
		Pastilla de Freno
		Arandelas para Disco de Freno
De Estaciones	Poleas de Desviación	Bandaje Poleas
		Rodamientos Poleas
		Ring (cubierta Polea)
	Sistema de Sincronización	Correa Trapezoidal
		Piñón Cónico
		Rodamiento para Piñón
		Válvulas
		Neumáticos
		Rodamiento para chumacera
		Acondicionador de Señal
		Rodamiento Poleas
		Rodamiento Rodillo
	Apertura y Cierre de Puertas	Amortiguador a Gas
	Polea Motriz	Aceite
	Central de Tensión	Cartucho de Filtro
		Válvula de Control Direccional
		Aceite
De Línea	Balancines	Bandaje Poleas
		Rodamientos Polea
		Arandela guardapolvo
		Grasas Lubricante
		Barretas de Seguridad
Pinzas y Cable Tractor	Pinzas	Rueda de Circulación y Estabilización
		Aguja para pinza
		Rodamiento de apertura y cierre
	Cable Tractor	Lubricante

4.6 Planificación y Programación de Actividades de Mantenimiento en un Teleférico.

Para realizar una correcta planificación de las tareas que se deben realizar primero es necesario determinar los objetivos que se quieren cumplir como área de mantenimiento, lo cuales en esta propuesta, vienen dados por un lado del Modelo de Negocios por parte de la empresa a cargo la cual establece las directrices de las diferentes áreas, incluyendo el mantenimiento (notar que posiblemente no es lo mismo la administración de un teleférico turístico a uno de transporte público), y por otro lado, también se debe considerar la mantención mínima de los activos o componentes, independientemente cual sea el Modelo de Negocios. Así, con estas dos visiones se pueden plantear objetivos reales y concretos a cumplir como por ejemplo disponibilidad de componentes, costos a corto plazos, tercerización de tareas, estado óptimo de componentes entre muchos otros.

Para esto, lo que propone esta memoria, es plantear estos objetivos en base a Indicadores. Los cuales son una ayuda para cumplir los objetivos planteados (son un medio, no el fin) y permiten medir el avance o el estado actual en relación al estado ideal a lo que se quiere llegar o en el mejor de los casos mantener. La diferencia entre el estado ideal (objetivos definidos) y el estado actual medido sugiere ciertas tareas o actividades a realizar las cuales por norma se deben realizar a partir de lineamientos principal. Los 4 lineamientos principales para las actividades que se proponen en esta memoria son: Organización, Personal Entrenado, Métodos y Procedimientos. El primer lineamiento se refiere que se debe realizar las actividades en base a cumplir una necesidad de manera que estas se complementen para cumplir los objetivos, es esencial tener una buena comunicación e involucramiento por parte el personal. El segundo refiere a tener personal capaz (con certificación) de realizar estas actividades. El tercer lineamiento refiere a establecer métodos concretos con que las actividades de mantenimiento se van a llevar a cabo y como realizarlas (monitoreo, pruebas no destructivas, mediciones, etc.) y, por último, el cuarto lineamiento refiere a dejar establecido todo lo que involucre estas actividades, es decir, métodos, mano de obra, materiales, herramientas, seguridad, etc. Estos procedimientos deben respetados y divulgados.

En la Figura 33 se muestra un esquema que propone de donde obtener los objetivos para el área de mantenimiento y los principios de las actividades a realizar para cumplirlos en base a Indicadores.

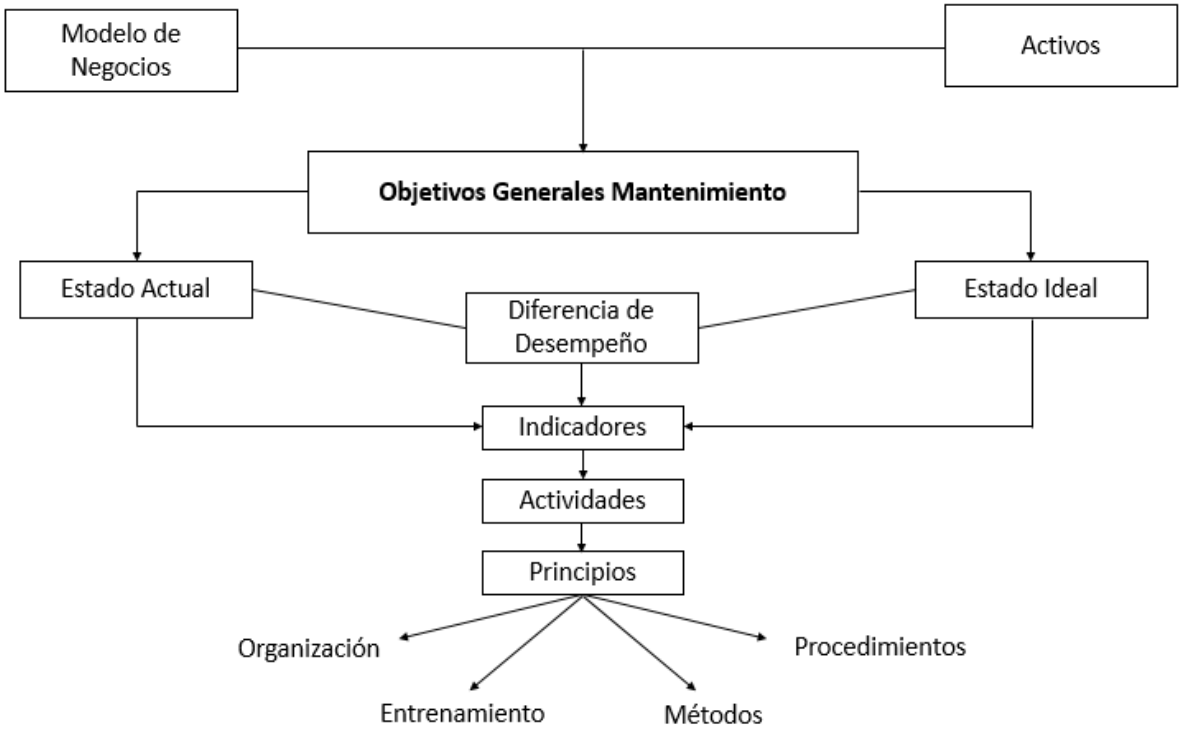

Figura 33: Planteamiento de Objetivos y Principios de Actividades.

Luego que se definen los objetivos de mantenimiento se pueden planificar las actividades o intervenciones que se deben realizar. Como se ve en las normas, las estrategias de mantenimiento son orientadas a realizar mantenimiento predictivo y preventivo, por lo que se propone a realizar *'a priori'* solo planificación para actividades de carácter predictivo y preventivo, no olvidando las actividades de mantenimiento correctivo (esperar que un componente falle) las cuales serán analizadas para luego planificadas y programadas, pero es importante notar que ningún componente se espera o debería fallar. Para realizar las planificaciones, lo que se propone es realizar procedimientos para todo lo que se quiere planificar, si no, no puede pasar a la siguiente etapa del proceso la cual es programación, es por esto que es imperante tener procedimiento de las actividades de mantenimiento, como se menciona en las normas.

Al realizar los procedimientos se debe considerar en primer lugar las recomendaciones de los fabricantes las cuales se encuentran en el **Manual de Uso de los componentes**, estas serán la **base de los procedimientos** ya que al no ejecutar lo establecidos en estos, la garantía podría perder validez. Además, se deben considerar las normativas de seguridad como las de trabajo en altura, movimiento de elementos de izaje, trabajo con maquinaria pesada, entre otras, como también es muy importante considerar la experiencia que tenga la mano de obra en actividades de mantenimiento similares. Como apoyo a los procedimientos se recomienda utilizar la documentación operacional de los componentes en cuanto a valores y estados reales e ideales de estos. Finalmente, en los procedimientos es necesario establecer los métodos a utilizar y como estos son aplicados. Por lo tanto, como mínimo en un procedimiento se debe establecer una descripción detallada de la intervención a realizar, las responsabilidades tanto para el/los ejecutantes como quien la supervisa, las herramientas, insumo y materiales a utilizar y advertencias de seguridad. Igualmente se recomienda establecer los recursos a utilizar tanto el tiempo como los costos.

Luego, de que los procedimientos de las actividades de mantenimiento preventivo y predictivo sean revisados y aceptados, las actividades pueden ser programadas según las periocidades estipuladas en el Manual de Uso del fabricante, de donde se puede extraer el plan de mantenimiento. Sin embargo, no solo las actividades de mantenimiento planificado pasan a Programación, sino que también es necesario considerar las fallas imprevistas que ocurran (Mantenimiento Correctivo) como también las actividades de mantenimiento planificadas pero que por algún motivo no se llevaron a cabo, a esto se le llamara Backlog. Así, se propone que se programen las actividades de mantenimiento predictivo y preventivo con sus respectivos procedimientos como también las actividades de mantenimiento correctivo y Backlogs, pero estos antes deben para por un análisis de causa raíz (ACR) para encontrar el motivo o la causa y poder eliminarla o en su defecto poder controlarla. Este análisis se debe realizar en base a las tres herramientas de mantenimiento y calidad descritas anteriormente: FMECA, Cartas de Control e Indicas de Capacidad y Diagrama de Causa-Efecto. Luego de que se realice el análisis y se encuentre la causa de la falla imprevista, se debe planificar, realizar nuevos procedimientos si es necesario para luego programar la actividad. Como esta actividad de mantenimiento posiblemente no se encuentre en el Manual de Uso (por ser de una falla imprevista) por ende no está en el plan de mantenimiento, la

programación de esta actividad correctiva se debe realizar en base a su impacto operacional y la tabla de criticidades. En la Figura 34, se muestra el esquema que se propone para la planificación y la elaboración de los procedimientos.

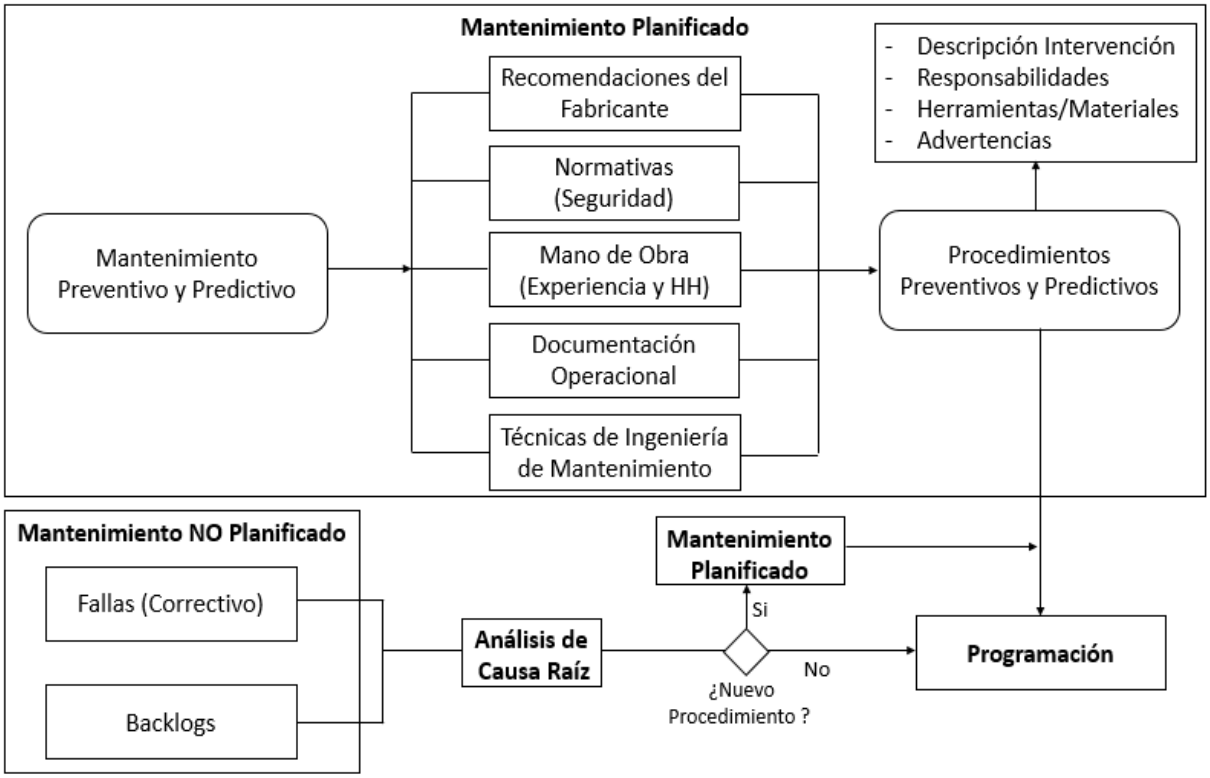

Figura 34: Esquema de Planificación de Mantenimiento y Elaboración de Procedimientos.

En el caso de los Backlogs, la re-programación de estos se propone que se realice en base a dos tipos de priorizaciones, la primera según el riesgo que supondría una falla del componente al que no se realizó la actividad de mantención como también su criticidad y la segunda priorización es en base a los costos (de ineficiencia y de intervención) y del tiempo que lleva sin hacer esa actividad. Por otro lado, es necesario evaluar del porque no se está realizando la/las actividades por lo que es necesario revisar los indicadores que se refieran a esto como el de actividades planificadas como también en algunos casos quizás sea motivo por una mala gestión. Es recomendable utilizar el Diagrama de Efecto-Causa para encontrar el motivo de un Backlog, ya que permitirá una mirada más amplia de las posibles causas del no cumplimiento de actividades. Si es necesario realizar un nuevo procedimiento, la actividad pasa a Planificación y si no lo requiere pasa a Programación según el análisis de priorización de Backlogs.

En la Figura 34 se muestra el esquema propuesto de análisis de Backlogs.

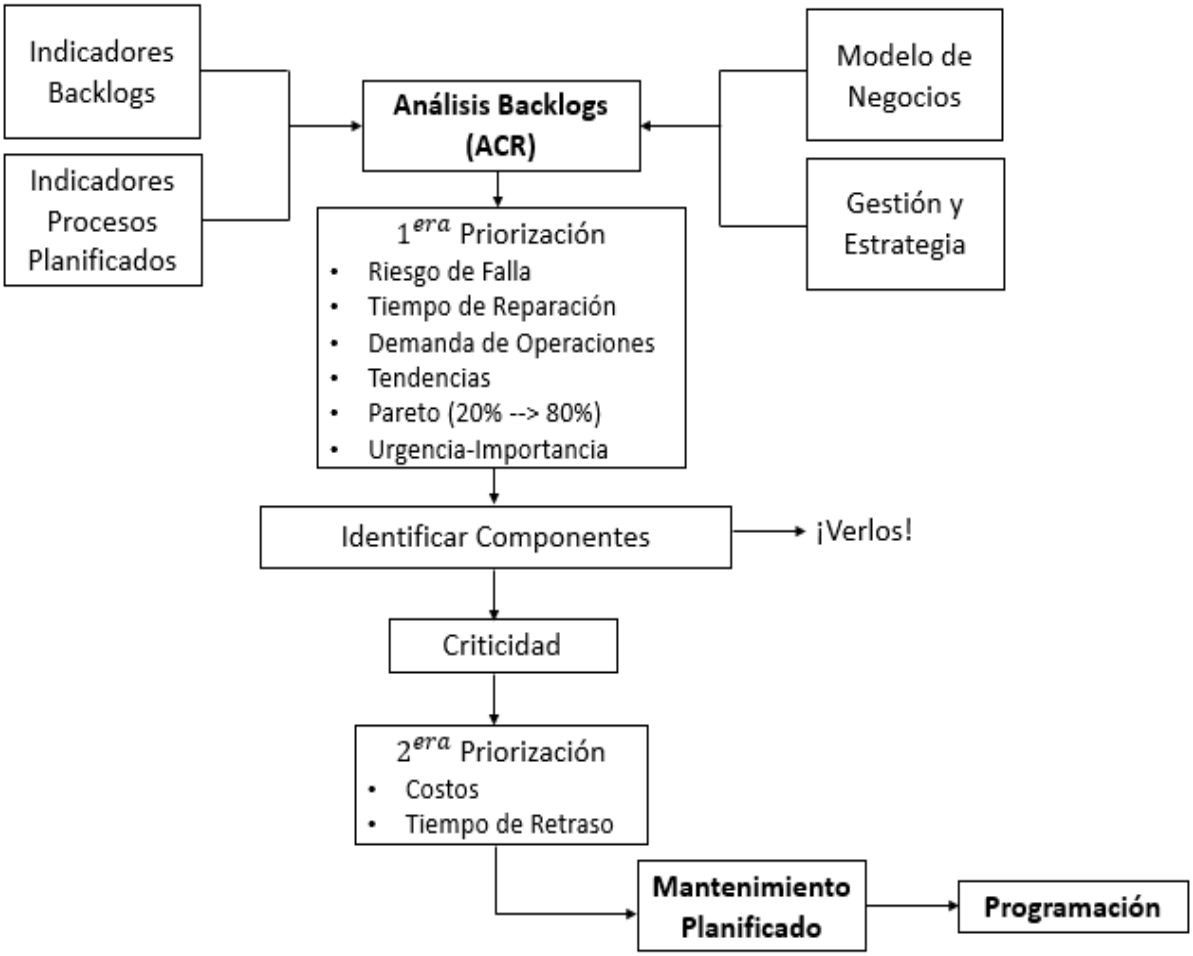

Figura 35: Análisis de Backlogs.

4.7 Ejecución de Mantenimiento y relación con Operaciones

Para llevar a cabo lo que está programado, es altamente recomendado que esta **programación sea divulgada a todo el personal** de mano de obra del área de mantenimiento, es decir, informar a todos los técnicos todas las intervenciones o inspecciones que se deben realizar al sistema, independientemente si haga ese técnico dicha intervención o no. Esto es debido ya que, si bien son varios componentes, todos estos conforman un mismo sistema, y puede suceder que una causa de falla cause varias fallas en distintos competentes como puede ser el caso de vibraciones. Por lo que se propone es que la programación se comunique a todo el personal, incluyendo al que está en Almacenamiento.

El sector de Almacenamiento es de alta importancia en el área de mantenimiento debido a que es donde se almacenan y mantienen todas las herramientas, insumos, materiales y repuestos de los componentes. Al poseer la programación el personal que está encargado de almacenamiento permite que lo que se necesite para realizar la intervención esté preparado de antemano y no se pierda tiempo en prepararlo. El sector de almacenamiento debe ser de fácil acceso para la entrada y salida de componentes, ordenado y con los componentes de repuestos, herramientas, materiales, elementos de izaje etiquetados y bien mantenidos. Además, se recomienda que se lleve un control de inventario, es decir, registrar que es lo que ingresa y regresa al almacenamiento como también se conozcan las tasas de consumo de los insumos más utilizados como lo son los lubricantes y aceites para no sobreestimar o subestimar su uso lo cual podría derivar en costos de ineficiencias.

Una vez que la programación sea comunicada a todo el personal de mantenimiento, se procede ejecutar las intervenciones. Luego que se realicen las intervenciones es imperante realizar un informe o reporte de la intervención. En este reporte se debe expresar el estado en el que quedan los componentes, el responsable, si da el caso los valores característicos de sus funciones y el grado de cumplimiento en el que se realizó la intervención (total o parcial). En el caso de que no se ejecute la intervención o no se realice la actividad es igual de importante de que también se debe realizar un reporte expresando por qué no se hizo. Ambos registros se deben documentar. Si no se realizó, es decir, ocurre un Backlogs, se debe analizar dicho Backlog cómo se propuso anteriormente para luego re-programar, en el caso de una falla pasar a planificación si no hay procedimiento para reparar la falla. Este proceso permite que con el tiempo se vayan realizando los procedimientos e ir completándolos en el caso de que estén incompletos y a su vez permite ir con el tiempo detectando deficiencias que no permiten la realización de intervenciones. Es importante notar que el mantenimiento debe ser estrictamente conforme a las exigencias particulares precisadas en las especificaciones de los fabricantes en el Manual de Uso.

Por último, al realizarse la ejecución esta se debe evaluar de acuerdo a lo expresado en el Manual de Uso en cuanto a verificar el correcto funcionamiento de los componentes en su estado operacional.

En la Figura 36 se muestra el proceso que se propone para llevar a cabo un ciclo en el cual se busca que con el tiempo cumpla norma en cuanto a tener procedimientos estandarizados para las intervenciones y actividades de mantenimiento y que incluya la programación y su comunicación, el almacenamiento como parte del proceso y por último el control y evaluación de las intervenciones.

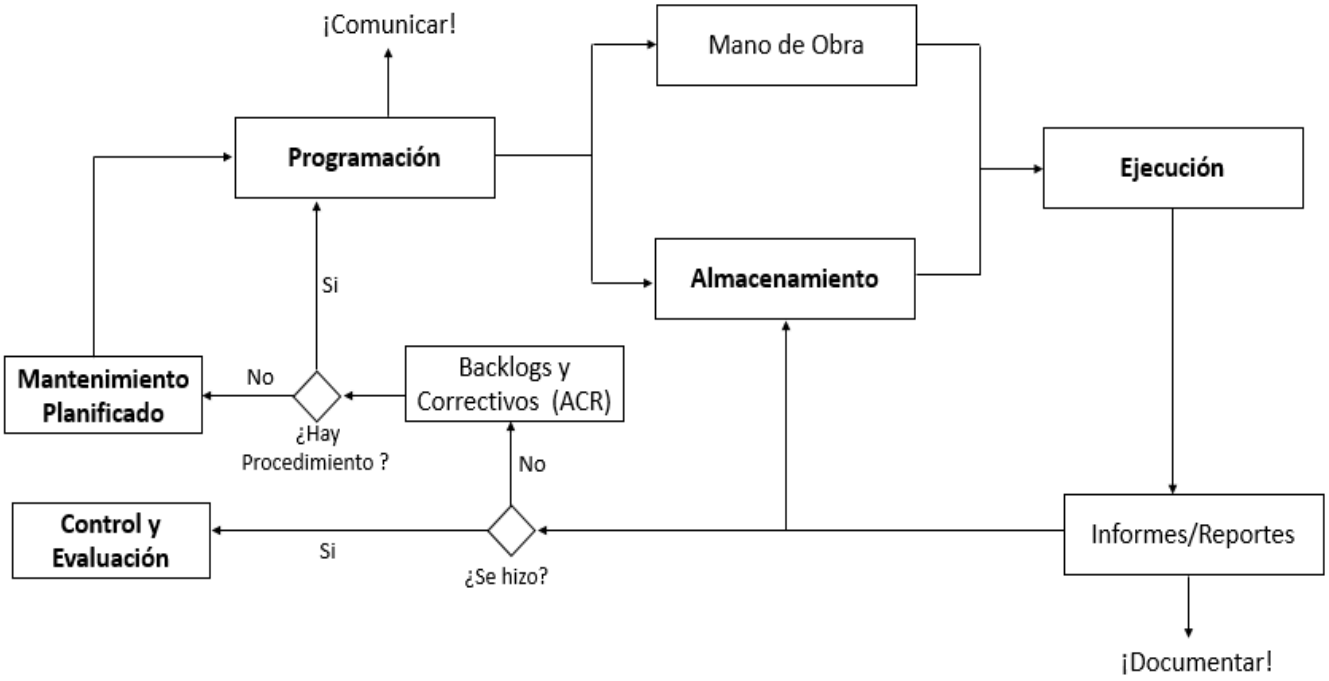

Figura 36: Proceso de Ejecución y Control.

Es importante notar, que el mantenimiento de un Teleférico, en parte, lo realizan los mismos operadores, esto quiere decir, que el Conductor del Teleférico es el encargado de realizar inspecciones periódicas, registro de averías y anomalías, y anotar las mediciones de monitoreo de los componentes como el motor principal, cable principal, reductor, entre otros, las cuales muestra el Autómata o Panel Central. También los Operadores de Estaciones son los que supervisan el correcto funcionamiento del sistema en las estaciones mediante inspecciones periódicas y son los que informan averías y anomalías al Conductor. Esto es de vital importancia para el mantenimiento ya que su mano de obra es su principal herramienta para ver, escuchar y sentir (en el caso de vibraciones) los síntomas que podría tener alguno de los componentes. Otra ventaja de la dualidad Operador-Mantenedor es que permite tener información sobre la demanda (carga) de la que se espera en el sistema.

4.8. Relación Mantenimiento y Finanzas

Como se mencionó en el Marco Teórico, el **Mantenimiento** debe ser visto como una herramienta más del Modelo de Negocios, sin embargo, **no es una herramienta que genere ingresos,** razón principal del por qué no toma la importancia que debería tener**, no obstante, genera utilidades** si se realiza adecuadamente, ya que históricamente se observa que es más costoso no realizar mantenimiento adecuadamente que invertir lo que se debe en él. Por el otro lado, el mantenimiento debe ser capas justamente de evitar los costos excesivos, principalmente lo costos de ineficiencia por cierre parcial de Teleférico, situación que no genera ingresos, pero como se dijo, disminuye las utilidades dejando de ganar dinero por no realizar mantenimiento adecuadamente. Es por esto que se debe encontrar un equilibrio entre realizar un Mantenimiento que no genere riesgos (con inversión) y un Mantenimiento que asegure minimizar los costos globales de la empresa.

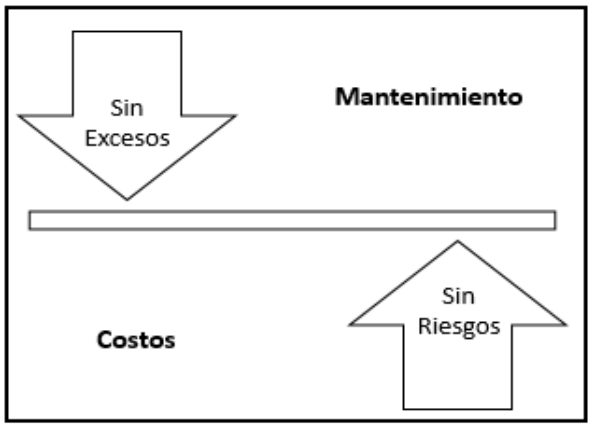

Figura 37: Equilibrio Mantenimiento-Costo

Las inversiones mínimas que se proponen en esta memoria para disminuir los riesgos y evitar costos de ineficiencia son:

- Personal capacitado y certificaciones que lo avalen.
- Herramientas y equipamiento para realizar las labores de mantenimiento.
- Insumos requeridos para realizar intervenciones específicas de mantenimiento.
- Contar con stock mínimo de repuestos de componentes de menor vida útil (Tabla 15).
- Internalizar por lo menos las Pruebas No Destructivas de Análisis de Vibraciones y Análisis de Lubricantes.

4.9. Principales Indicadores de Mantenimiento

Los Indicador son los elementos de medición del desempeño del área de mantenimiento, muestran el avance o retrocesos hacia los objetivos definidos. En esta memoria se propone ocupar los Indicadores PQVC que vienen de People, Quality, Velocity and Costs. Estos Indicadores muestran en igual orden su relevancia, por lo tanto, los Indicadores ligados a las Personas son lo que tienen mayor importancia, luego Calidad, después Velocidad y finalmente los Costos. Es así debido a que las personas no son solo quienes realizan el fin último de la cadena de etapas mantenimiento que es la ejecución, sino, que también esta presenta en cada de las etapas intermedias para llegar a una correcta ejecución, es decir, se encuentra en Planificación y Programación, en Almacenamiento y Control y Evaluación. Es por esto que el primer **Indicador de Personas** es el de Capacitación y **Certificaciones** (Mano de Obra Certificada vs Mano de Obra Total), luego el de **Seguridad** (Accidentabilidad) y por último el de **Horas Hombres** (Reales vs Planificadas), para evitar trabajar con exceso de horas lo cual no es recomendable en mantenimiento. Luego en **Indicadores de Calidad** en primer lugar se encuentra el de **Disponibilidad** (Tiempo real disponible/ Tiempo esperado disponible) que se debe implementar por norma al sistema entero (el fabricante establece Disponibilidad esperada) o por componentes (por ejemplo Cabinas disponibles), luego viene el de **Procedimientos** en cuanto a número de procedimientos existentes en relación a las intervenciones de mantenimiento que se hacen y finalmente se propone un indicador de **Planificación** (Actividades Planificadas realizadas/Actividades Planificadas Totales). En tercer lugar, los **Indicadores de Velocidad** se tienen los **Backlogs** (Cantidad de Intervenciones totales atrasadas), luego el de **Mantenibilidad** (Capacidad de responder a las actividades de mantenimiento, puede ser medido cualitativamente o cuantitavamente en tiempo) y por ultimo de **Tiempo Medios de Reparación** la cual establece tiempos de intervención que se recomienda poner en los procedimientos. Finalmente, los **Indicadores de Costos**, el cual el primero es el de **Mantenimiento Planificado** en relación a los costos totales, luego establecer los indicadores de los Mantenimientos Predictivos (Monitoreo de Condiciones), Preventivos (materiales, insumos, repuestos) y Correctivos (por falla), **Horas Hombres** en cuanto a planificadas y reales (considerar que si se tienen un adecuada planificación y ejecución las horas hombres reales no deberían varias muchos a las

planificadas) y el último Indicador es el de costos de **Ineficiencia**, que propiamente tal no es un gasto (por lo que va último) y se puede separar en pérdidas por percepción de calidad (pasajeros empiezan a preferir otro medio), menor capacidad de transporte de pasajeros e indisponibilidad parcial.

A continuación, en la Tabla 16 se muestra un set de indicadores los cuales se proponen como primordiales en este modelo de mantenimiento:

Tabla 16: Principales Indicadores Propuestos

Personas	Calidad	Velocidad	Costos
Capacitación/ Certificación	Disponibilidad (Sistema, cabinas)	Backlogs	Mantenimiento Planificado/No Planificado
Seguridad	Procedimientos Completos	Mantenibilidad	Predictivos/ Preventivos/ Correctivos
Horas Hombres (Reales-Planificadas)	Cumplimiento de Planificación	Tiempos Medios de Reparación	Ineficiencia

4.10. Valor Humano y Comunicación.

Como se expresó anteriormente, por norma, el personal de mantenimiento de un Teleférico debe estar **capacitado y certificado** para realizar correctamente las intervenciones de mantenimiento como también debe ser **capaz de seguir procedimientos**, de otro modo, si no cumple estos dos requisitos estará siendo un agente riesgo para las instalaciones, pasajeros, personal y el mismo (Norma UNE-EN 1709). Por otro lado, se observa que en cada etapa de los procesos propuestos se encuentra el factor humano cumpliendo tanto tareas de análisis, inspecciones como de ejecución, por lo tanto, es el **principal factor** a tener en cuenta **para alcanzar los objetivos de mantenimientos planteados.** Expresado de otro modo, no se puede plantear un modelo de mantenimiento (por muy bueno que sea), sin considerar, la integración de quienes van a realizar y llevar a cabo dicho modelo de mantenimiento en todas sus etapas.

Considerando la importancia que tienen las personas en el mantenimiento, es que se proponen cuatro elementos principales para generar Valor Humano que tenga impacto real en el avance hacia el cumplimiento de los objetivos del mantenimiento, estos elementos son:

- **Conocimiento:** Personal capacitado y certificado capaz de realizar intervenciones de acuerdo normas y procedimientos. Además, está interiorizado con el correcto funcionamiento operacional del sistema, pudiendo así ser capaz de detectar anomalías y posibles causas de fallas.
- **Seguridad:** Personal capaz de realizar intervenciones de acuerdo a las normas correspondientes de seguridad como también capaz de anticiparse a situaciones que generen riesgo tanto a personas como a las instalaciones.
- **Comunicación:** Personal capaz de comunicarse efectivamente con el resto del personal, es decir, de manera oportuna, concreta y simple.
- **Pertenencia:** Personal que se siente y es integrado al equipo de trabajo de mantenimiento de manera que su trabajo es realizado con el fin de aportar a cumplir los objetivos establecidos y no por cumplir.

En la Figura 38 se muestran los cuatro elementos que se proponen para generar el Valor Humano:

Figura 38: Elementos del Valor Humano.

Para potenciar el Valor Humano en este modelo de mantenimiento, es por lo que se propone que prevalezca una **Comunicación Horizontal** entre todos los estamentos o niveles de cargo del área de mantenimiento, es decir, ingenieros, supervisores y mantenedores. En primer lugar, esto debido a que los mantenedores (y operadores también) son los primeros capaces de detectar anomalías en el funcionamiento del Teleférico, tanto en sus distintas estaciones como en la línea donde no siempre se encuentran supervisores y también quienes están a cargo de definir las directrices, prioridades y métodos tienen información de primera fuente la cual es complementada con los Indicadores (lo cuales no son un fin, sino un medio para cumplir los objetivos de mantenimiento). En segundo lugar, la **Comunicación Horizontal** permite que el personal se sienta involucrado en las tareas a realizar, pues es escuchado al plantear sus ideas y retroalimentación de los procesos y actividades, lo que induce a pasar de 'ser' responsable a 'sentirse' responsable, así promueve un trabajo confiable y seguro.

4.11. Modelo Base de Mantenimiento en un Teleférico.

Considerando todas las propuestas mencionadas anteriormente que abarcan los principales alineamientos de las normas UNE-EN 1709 y 12408 aplicable a Teleféricos destinados al transporte de personas, se pueden determinar los principales ejes que tiene este modelo de mantenimiento, los cuales se presentan a continuación:

1- Ingeniería de Mantenimiento.

El primer eje de Ingeniería de Mantenimiento es donde se definen las directrices de trabajo a utilizar para cumplir la normativa UNE-EN. Dentro de las tareas se encuentran:

- **Definir las políticas de trabajo y objetivos generales** del mantenimiento mediante una mirada holística que incluya tanto el Modelo de Negocios como el cuidado mínimo de los activos.
- **Definir los Indicadores de Desempeño** los cuales miden cuantitativamente y cualitativamente información entregada en los procesos de mantenimiento y componentes. Indicadores que permitan llevar un seguimiento fiable a lo largo del tiempo y al realizar una adecuada lectura de estos permitan una adecuada toma de decisiones.

- **Definir Criticidad de Componentes** de acuerdo su contexto operacional con el fin de tener en conocimiento las causas de falla más críticas y orientar procesos y actividades de mantenimiento (priorizar) en caso de ser necesario, como una falla correctiva o Backlogs.
- **Determinar métodos de Mantenimiento y Calidad** (cuantitativos y cualitativos) con el fin de realizar **Análisis de Riesgos y Fallas** de componentes y así tener un mayor y mejor entendimiento operacional del sistema.
- **Establecer Monitoreo en Operación** y **Pruebas No Destructivas** (Mantenimiento Predictivo) a realizar en componentes que lo requieran. Establecer cuáles de estos serán internalizados y cuales tercerizados.
- **Determinar recursos** en conjunto con Finanzas de acuerdo al Modelo de Negocios de la empresa. Recursos que aseguren minimizar los riesgos establecidos por norma y que permitan desarrollar las actividades de mantenimiento permitan un correcto funcionamiento del sistema, siendo capaz de disminuir los costos globales de la empresa (reducir costos de ineficiencia).

2- Planificación y Programación.

El segundo eje de Planificación y Programación es donde se establecen los procedimientos y periocidades de las actividades como también la gestión de Backlogs:

- **Estandarizar Procedimientos de actividades de mantenimiento** a realizar tanto de mantenimiento preventivo y predictivo conforme a lo estipulado en el Manual de Uso del fabricante. En el caso de que ocurra una falla y no exista procedimiento, realizar uno de mantenimiento correctivo.
- **Desarrollar Plan de Mantenimiento** en base al Manual de Uso del fabricante, que explicite sus periocidades (diarias, mensuales, anuales, etc.), responsables y observaciones.
- **Gestionar Backlogs**, es decir, priorizar las actividades de mantenimiento programadas durante la planificación pero que no fueron realizadas y que se deben hacer para asegurar el funcionamiento del Teleférico.

- **Documentar reportes** del desarrollo de actividades para llevar a cabo trazabilidad de las ejecuciones y componentes.

3- Ejecución de Mantenimiento.

El tercer eje de Ejecución de Mantenimiento es donde se lleva a cabo las actividades planificadas y programadas:

- Quienes realizan las intervenciones deben estar **Certificados y Capacitados** según las instituciones que correspondan (trabajos en altura).
- **Realizar** las **intervenciones de mantenimiento** de manera confiable y segura conforme a lo **establecido en los procedimientos** con el fin de asegurar el buen funcionamiento del Teleférico.
- **Supervisar** trabajo de **contratistas** para actividades de mantenimiento externalizadas como también asegurar sus garantías.

4- Almacenamiento.

El cuarto eje de Almacenamiento es donde se sitúan y mantienen todos los elementos necesarios para realizar las intervenciones de mantenimiento (Repuestos, Herramientas, Materiales y Elementos de Protección Personal):

- **Mantener** en buen estado y con **orden** Repuestos, Herramientas y Materiales (aceites y lubricantes).
- **Etiquetar** elementos de izaje con su carga admisible.
- Debe ser de **fácil acceso** tanto para el flujo de componentes y personas.
- **Control de Inventario** para tener registro de lo que ingresa y es solicitado a Almacenamiento
- **Establecer Tasas de Consumo** y **realizar catálogo** de repuestos de componentes con menor vida útil (Ver Anexo 4) e insumos con el fin de asegurar disponibilidad de estos.
- **Contacto con Proveedores y Recepción** de insumos y repuestos.

5- **Control y Evaluación.**

El quinto y último eje de Control y Evaluación es donde se analiza el trabajo realizado y el avance hacia los objetivos planteados:

- **Análisis de Indicadores** establecidos en Ingeniería de Mantenimiento para la mejor toma decisiones y orientar tareas de mantenimiento en pos de cumplir los objetivos.
- **Evaluar Costos de Mantenimiento** y compararlos respecto al presupuesto establecido previamente.
- **Retroalimentación** parte del personal. Sugerencias, indicaciones y comentarios que vayan en dirección de mejorar el mantenimiento y hacerlo más eficiente.
- **Establecer hábito de Mejora Continua** en el personal del área de mantenimiento, de modo que el modelo de mantenimiento sea consistente en sus procesos, eficiente con sus recursos y eficaz en su ejecución.

En la Figura 39 muestra la estructura principal del modelo de Mantenimiento propuesto con sus 5 ejes principales y sus tareas:

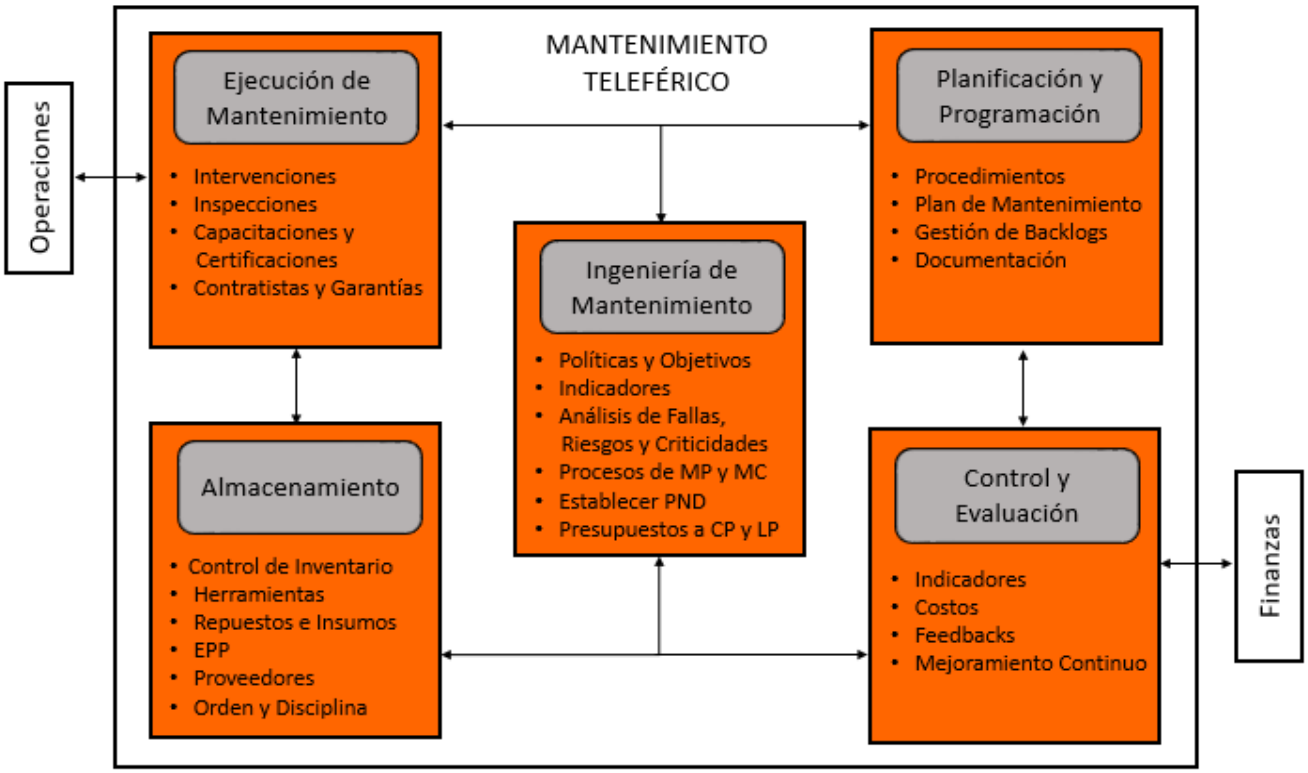

Figura 39: Esquema General Modelo de Mantenimiento Propuesto

5. Conclusiones

En la presente Memoria de Titulo se desarrolló una propuesta de Bases de un Modelo de Mantenimiento a aplicar a sistemas de transporte por Cable tipo Teleférico conforme a la normativa europea vigente UNE-EN 1709: Examen previo a la Puesta en Servicio, Mantenimiento y Controles de Operación y UNE-EN 12408: Aseguramiento de la Calidad, normativas exigentes en Teleférico de Santiago y Teleférico Bicentenario (en fase de licitación). Se logra cumplir satisfactoriamente el objetivo principal de establecer procesos de mantenimiento los cuales permiten de manera consistente cumplir con las normas mencionadas anteriormente incluyendo en los procesos las áreas de Planificación, Ejecución y Evaluación (Ver Figuras 34, 35 y 36). Además, se establecieron Indicadores para medir el estado actual de métricas importantes tanto como para cumplir los objetivos establecidos en el mantenimiento de un Teleférico como controlar los riesgos establecidos por norma, tales como falla de componente, defectos consecutivos, personal no capacitado y ausencia o no respeto de procedimientos.

Se realizó un levantamiento de los componentes de cada sub-sistema del Teleférico y mediante una matriz de criticidad se determinó los componentes más críticos tales como Motor Principal, Reductor, Cable-Tractor, Pinzas y Baterías, los cuales por norma se les debe hacer 'Monitoreo en Operación' mediante mediciones de sus principales funciones con lo que se puede ver anomalías en su funcionamiento, detectar posibles causas de variabilidad en su comportamiento y analizar tendencias.

De acuerdo a las normas UNE-EN 1709 y UNE-EN 12408 se puede establecer que las estrategias de mantenimiento son por un lado en base a realizar Inspecciones Periódicas (Checklists) y sustitución de componentes de manera programada (enfoque Preventiva) y por otro lado en base realizar Pruebas No Destructivas (Análisis de Vibraciones, de Aceites, Magnetografía y Termografía) y Monitoreo en Operación (enfoque Predictivo).

Dentro de las herramientas de Mantenimiento, Calidad y Mejoramiento Continuo se proponen utilizar 'Análisis de Modo, Efecto y Criticidad', Cartas de Control, Índices de Capacidad y Diagrama de Causa-Efecto con la finalidad de tener un mayor y mejor

entendimiento del funcionamiento del sistema en su contexto operacional, esencial para poder anticiparse a la falla, controlar riesgos y trabajar eficientemente.

Respecto a la relación entre Mantenimiento y Operación, por la norma UNE-EN 1709, se establece que tanto Conductor del Teleférico como Operadores de Estaciones son quienes deben realizar las labores de Inspecciones Periódicas (Preventivo) y toma de datos en el Monitoreo Operacional (Predictivo), además de registrar anomalías o defectos consecutivos, es decir, son el primer elemento capaz de anticiparse a una falla (Operador-Mantenedor). Por esta razón, y al ser un solo sistema que se extiende largas distancias donde hay que hacer mantenimiento (líneas y estaciones) se concluye que la Comunicación en el área de Mantenimiento debe ser Horizontal, lo que permite mayor involucramiento del personal y retroalimentación de los procesos.

Respecto a la relación entre Mantenimiento y Finanzas (o sus costos), se concluye que se debe realizar una inversión inicial principalmente en la aplicación de Pruebas No Destructivas, en donde la Análisis de Vibraciones es primordial debido al gran alcance que tienen las vibraciones en el sistema y posible causa de falla de componentes críticos, como también en la capacitación del personal. Dos factores que pueden causar costos de ineficiencia (cierre parcial).

En conclusión, se propone un Modelo de Mantenimiento con 5 ejes principales: Ingeniería de Mantenimiento, Planificación y Programación, Ejecución, Almacenamiento y Control y Evaluación, que está conforme a las normas vigentes exigidas, aprovecha la dualidad Operador-Mantenedor y considera factor primordial a su personal.

Se recomienda, antes que todo, realizar mayor cantidad de investigación respecto a la operación y mantención de Teleféricos en Chile, si bien hay uno solo fabricado y otro en fase de licitación no existe un Modelo de Mantenimiento en la actualidad aplicado en Chile, ni tampoco mucha gente especialista en el tema. Respecto a este Modelo se recomienda realizar un plan de implementación gradual y despliegue para su mejor asimilación por parte del personal. Además, se recomienda complementarlo con el área de prevención de riesgos y normativas de seguridad que se apliquen.

6. Bibliografía

- Tavares, L. (2000). *Administración Moderna del Mantenimiento.* Brasil: Novo Polo Publicações.
- Campbell, J.D. (2001). *Organización y Liderazgo en el Mantenimiento*. Madrid: Tecnologías de Gerencia y Producción
- Pistarelli, A. (2010). *Manuel del Mantenimiento: Ingeniería, Gestión y Organización.* (1a. ed.). Buenos Aires: Talleres Gráficos R y C.
- Gutiérrez Pulido, H., de la Vara Salazar, R. (2013). *Control Estadístico de Calidad y Seis Sigma*. (3a. ed.). México: McGraw-Hill/Interamericana Editores.
- Arata, A. (2009). *Ingeniería y Gestión de la Confiabilidad Operacional en Plantas Industriales.* (1a.ed.). Santiago de Chile: RIL Editores.
- Orro Arcay, A., Novales Ordax, M., Rodríguez Bugarín, M. (2003). *Transporte por Cable.* La Coruña: Tórculo artes Gráficas.
- AENOR. (2006). *Norma UNE – EN 1709: Requisitos de seguridad de las instalaciones de transporte por cable destinadas a personas. Examen previo a la puesta en servicio, mantenimiento y controles en explotación*. Madrid: Autor.
- AENOR. (2006). *Norma UNE – EN 12408: Requisitos de seguridad de las instalaciones de transporte por cable destinadas a personas. Aseguramiento de la Calidad.* Madrid: Autor.
- Goldratt, E. (1993). *La Meta: Un Proceso de Mejora Continua.* (2ª.ed.). México: Ediciones Castillo.

ANEXOS

Anexo 1.

Tabla de Normas Europeas para el Mantenimiento y Seguridad en Transporte por Cable

Tabla 17: Normas Europeas para mantenimiento y seguridad en Transporte por Cable destinado a personas.

NORMA	DESCRIPCIÓN
UNE - EN 1709	Requisitos de seguridad de las instalaciones de transporte por cable destinadas a personas. ***Examen previo a la puesta en servicio, mantenimiento y controles en explotación.***
UNE - EN 12408	Requisitos de seguridad de las instalaciones de transporte por cable destinadas a personas. ***Aseguramiento de la calidad.***

Anexo 2.

Tabla de Seguimiento de Reductor (Extracto)

Tabla 18: Extracto de Tabla de Mediciones Panel de Control

Fecha	Velocidad	REDUCTOR			
		Temperatura Reductor	Motor 1	Par Max.	Variación Máxima
LIMITES		70 °C	----	144%	59%
01-mar	V4 = 5 m/s	46,7	40,88	68,51	15,55
	V2 = 3,5 m/s	46	42,43	68,51	15,55
	V2 = 3,5 m/s	48,5	37,75	68,51	15,55
	V3 = 4 m/s	49,8	40,61	68,51	15,55
02-mar	V2 =3,5 m/s	47,6	38,98	68,51	15,55
	V2 = 3,5 m/s	47,6	39,98	68,51	15,55

	V2 = 3,5 m/s	46	44,89	68,51	15,55
	V3 = 4 m/s	49	48,71	68,86	18,49
10-jun	V3 = 4 m/s	45	45,66	78,17	29,37
	V4 = 5 m/s	51,7	49,43	67,04	10,75
	V4 = 5 m/s	46,9	51,02	67,04	10,96
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
13-jun	V2=3,5 m/s	52,2	44,11	72,41	23,6
	V2=3,5 m/s	54	42,52	72,41	23,6
	V2=3,5 m/s	54,8	36,4	72,41	23,6
14-jun	V4 = 5 m/s	38,4	47,15	72,41	23,6
	V2 = 3 m/s	48,7	45,09	72,41	23,6
	V2 = 3 m/s	52,8	43,89	72,41	23,6
15-jun	V2 = 3,5 m/s	46,9	42,01	72,41	23,6
	V2 = 3 m/s	45	42,41	72,41	23,6
	V2=3 m/s	54,7	35,3	72,41	23,6
16-jun	V2 = 3 m/s	33,3	42,81	72,41	23,6
	V2 = 3 m/s	53,6	43,83	72,41	23,6
	V3 = 3 m/s	54,8	42,48	72,41	23,6
	V 2=3 m/s	50,9	41,43	72,41	23,6
	Promedio	48,54	42,91	68,14	19,43
	Desviación Estándar	5,02	3,78	13,84	6,11
	LCS	63,59	54,26	109,67	37,76
	LCI	33,48	31,56	26,61	1,10

Anexo 3.

Cartas de Control de Comportamiento de Funciones de Componentes Críticos

i) Reductor:

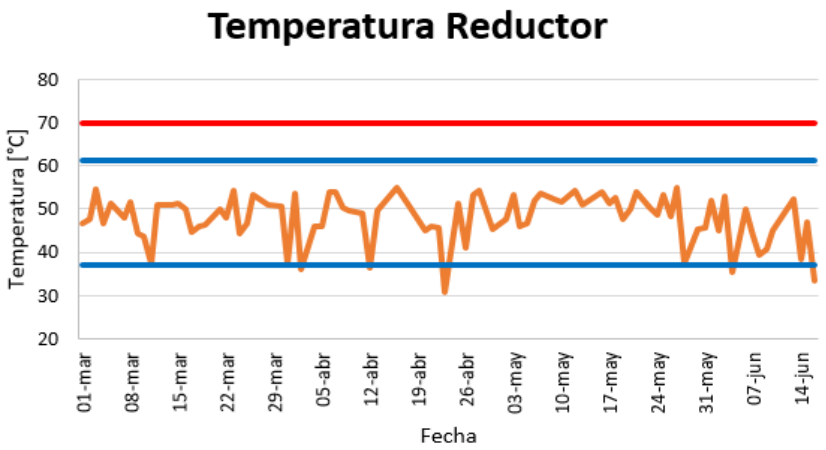

Figura 40: Comportamiento de Temperatura en Reductor en el tiempo.

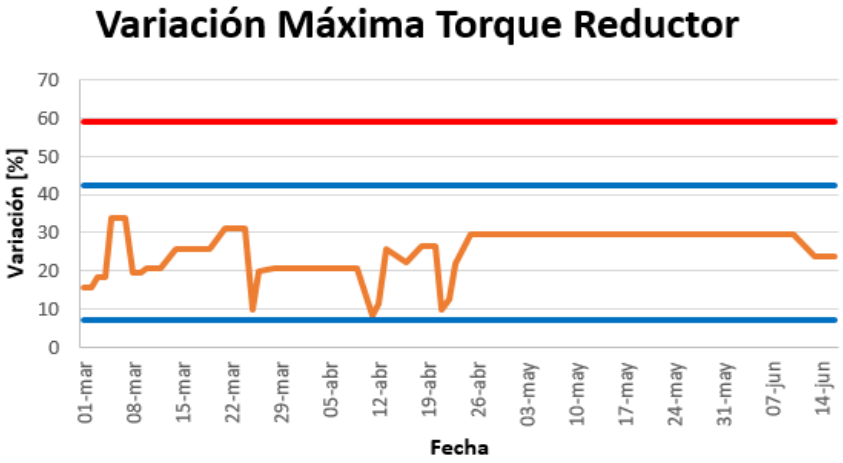

Figura 41: Variación de Torque en Reductor.

ii) Variador:

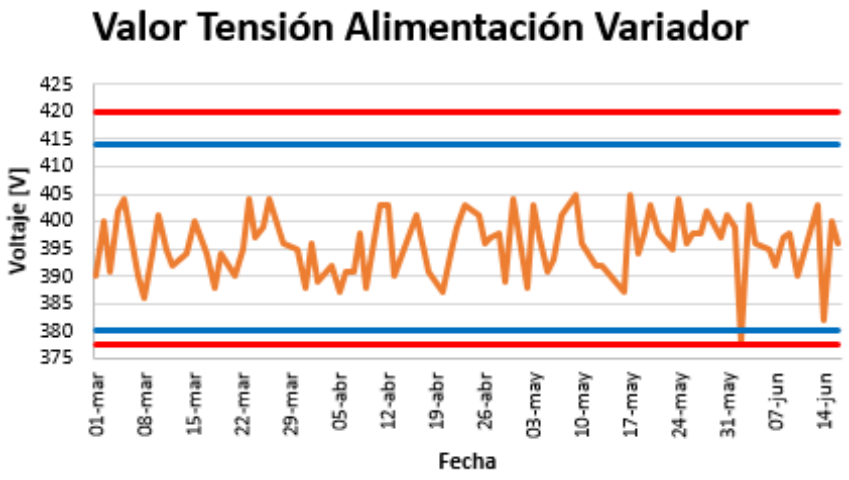

Figura 42: Comportamiento de tensión de alimentación en variador.

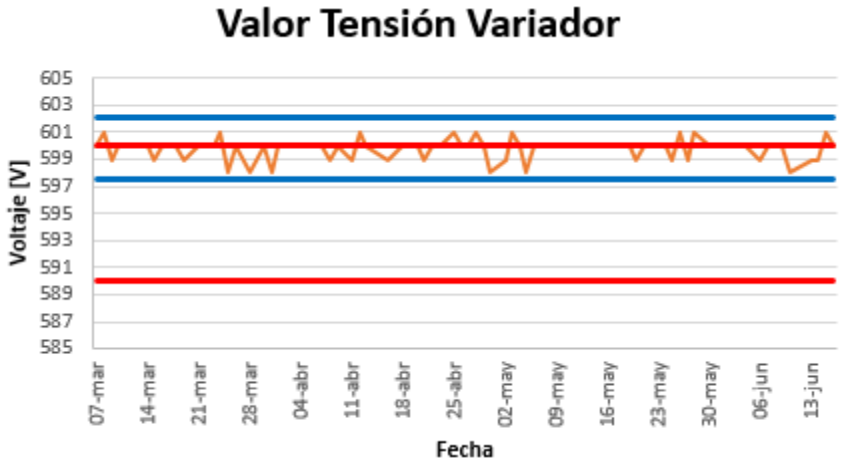

Figura 43: Tensión de Variador.

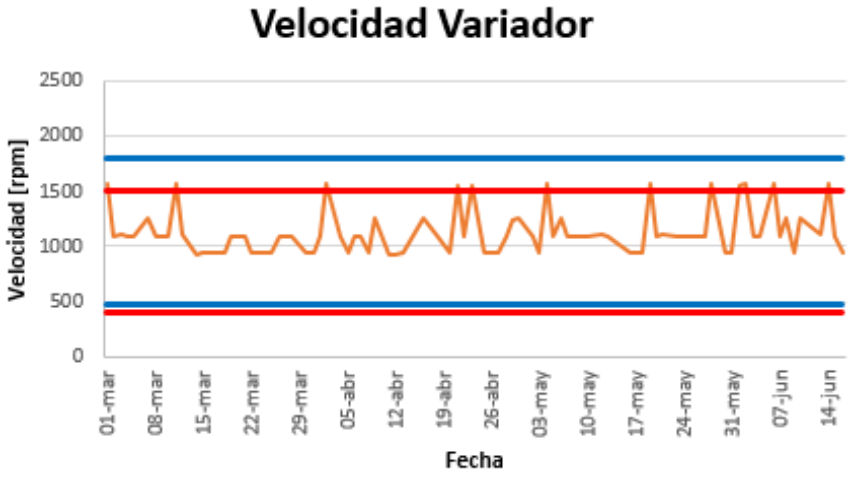

Figura 44: Velocidad en rpm de Variador.

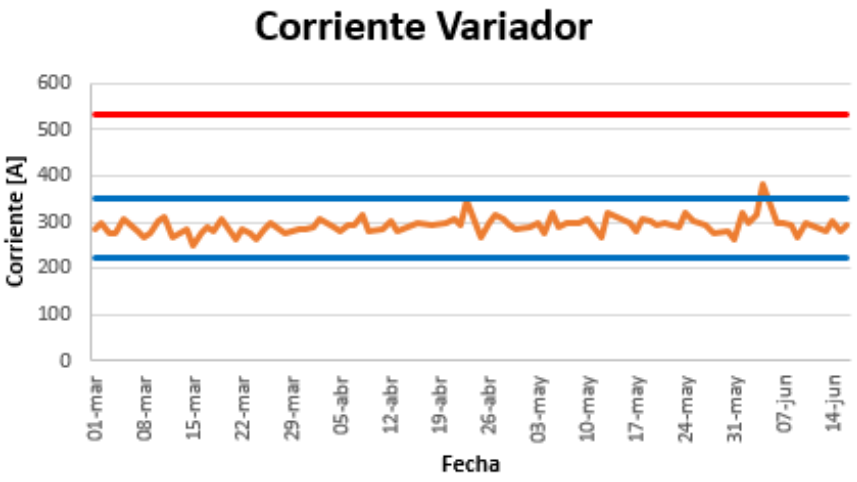

Figura 45: Intensidad de Corriente de Variador

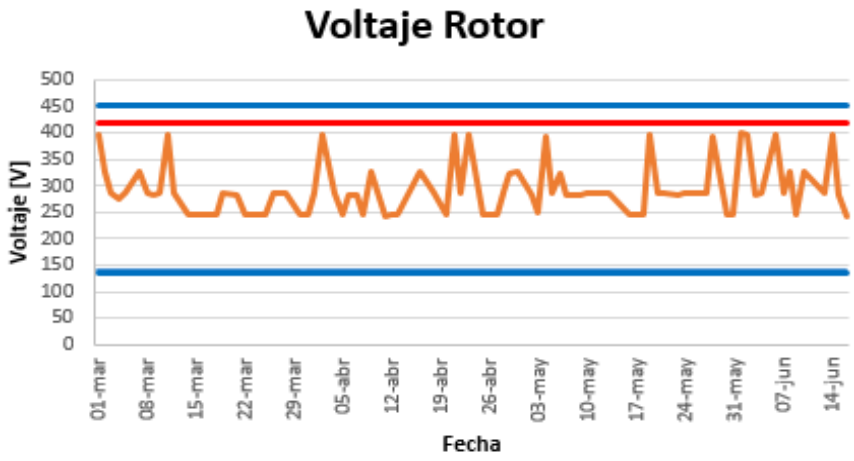

Figura 46:Diferencia potencial del Rotor

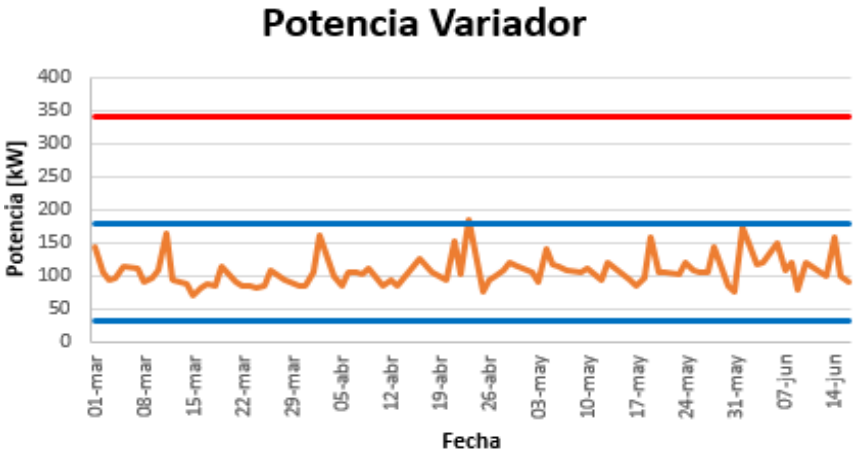

Figura 47: Potencia de Variador

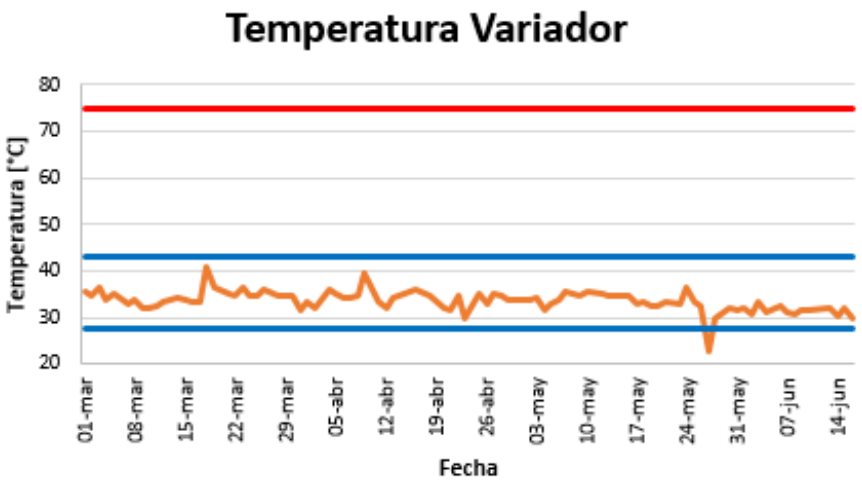

Figura 48: Comportamiento temperatura variador en el tiempo.

iii) Tensión Cable Tractor:

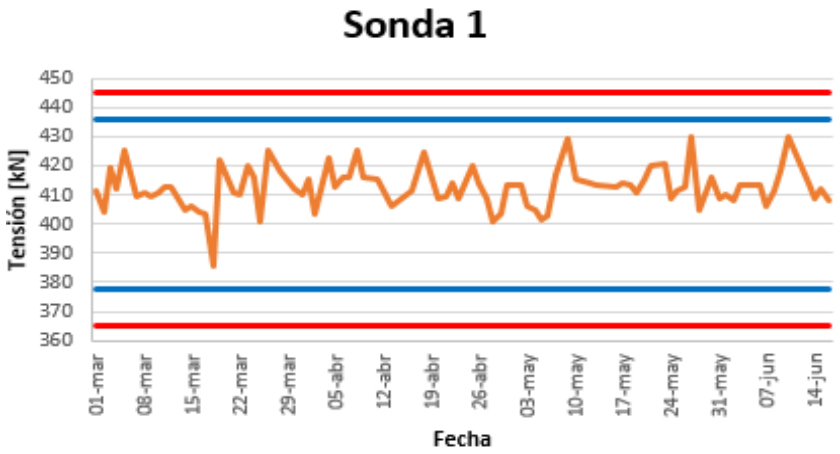

Figura 49: Valores de tensión media de Cable-Tractor en Ascenso.

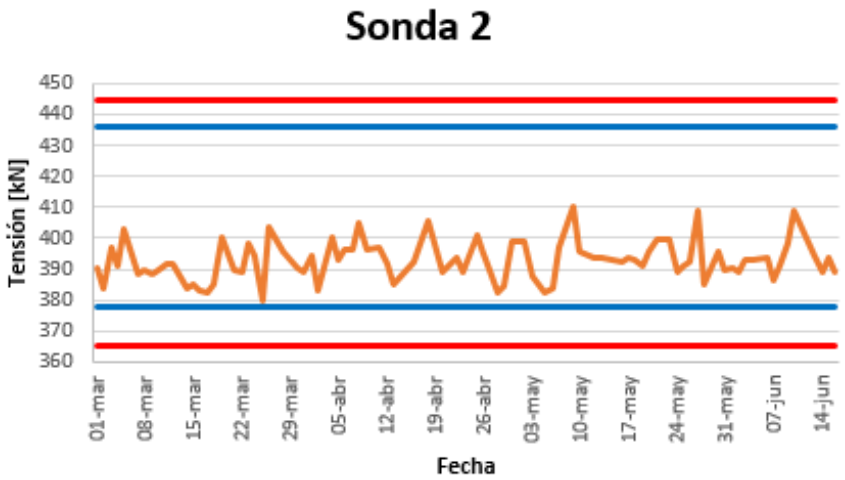

Figura 50: Valores de tensión media de Cable-Tractor en Descenso.

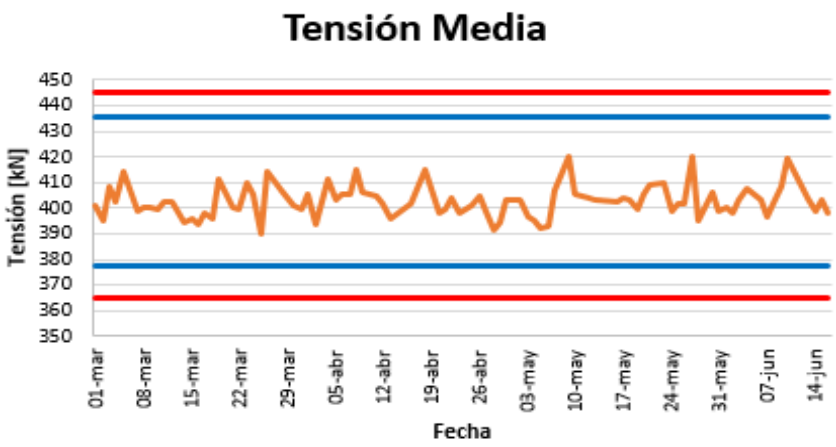

Figura 51: Valores de tensión media de Cable-Tractor en el tiempo.

iv) Baterías:

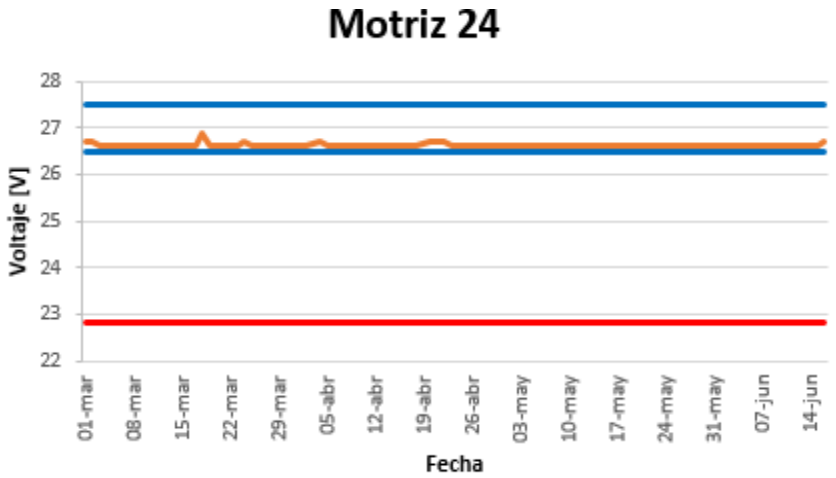

Figura 52: Voltaje de Batería ubicada en Estación motriz.

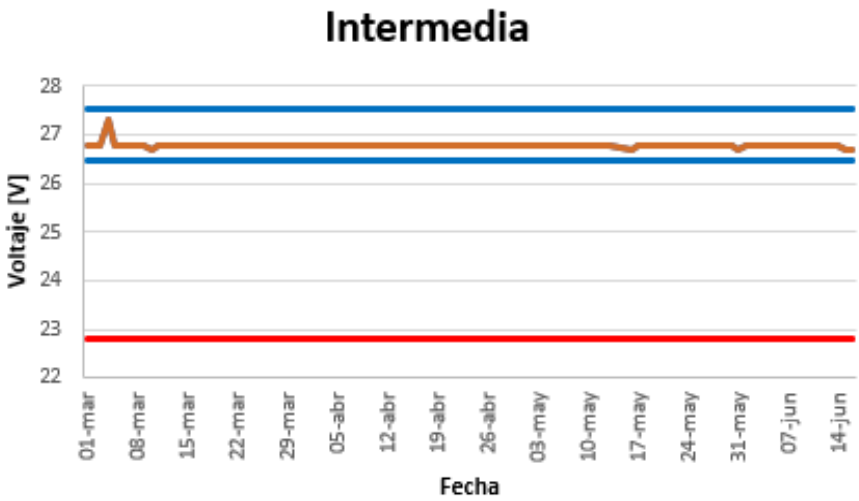

Figura 53: Voltaje de Batería ubicada en Estación intermedia

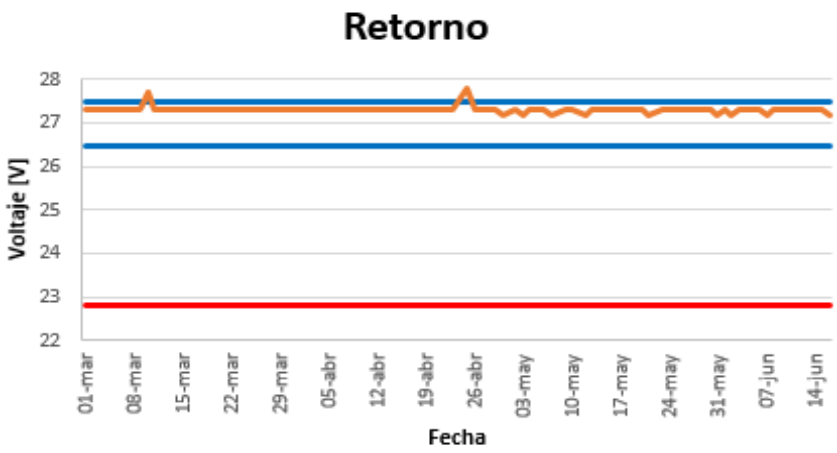

Figura 54: Voltaje de Batería ubicada en Estación Retorno.

v) Pesaje Pinzas:

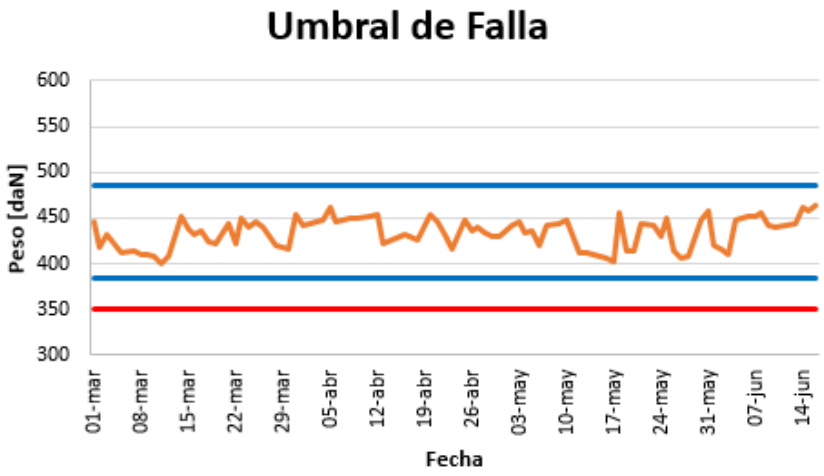

Figura 55: Comportamiento pesaje de pinzas en el tiempo.

Anexo 4.

Repuestos Críticos

Tabla 19: Repuestos Críticos (Tabla Completa)

Sub-Sistema	Componente	Repuestos
Motor y Freno	Motor Principal	Filtro de Aire
		Sensor de Temperatura
		Encoder o Decodificador
	Reductor	Sonda PT (Sensor de Temperatura)
	Freno	Pasta de Freno
		Pastilla
		Arandelas para Disco de Freno
		Electro-Distribuidor
De Estaciones	Poleas de Desviación	Bandaje Poleas
		Rodamientos Poleas
		Ring (cubierta Polea)
		Circlip rodamiento polea
	Sistema de Sincronización	Correa Trapezoidal
		Piñón Cónico
		Rodamiento para Piñón
		Circlip Int. Y Ext.
		Válvulas
		Neumáticos
		Rodamiento para chumacera
	Rampa de Embrague	Sensor de Proximidad
		Acondicionador de Señal
	Toma de Movimientos	Correa
		Circlip Int. Y Ext.
		Rodamiento Poleas
		Rodamiento Rodillo
	Apertura y Cierre de Puertas	Amortiguador a Gas
	Agujas	Sensor de posicionamiento
	Polea Motriz	Aceite

Continuación Tabla Repuestos Críticos		
De Tensión	Polea Retorno	Aceite
	Central de Tensión	Cartucho de Filtro
		Válvula de Control Direccional
		Aceite
De Linea	Balancines	Bandaje Poleas
		Rodamientos Polea
		Circlip Ext.
		Arandela guardapolvo
		Grasas Lubricante
		Barretas de Seguridad
Pinzas y Cable Tractor	Pinzas	Rueda de Circulación
		Rueda de Estabilización
		Aguja para pinza
		Rodamiento de apertura y cierre
Vehículos	Suspensión	Buje Suspensión
		Estribo enlace suspensión/cabina
	Cabinas	Baterías
		Resorte amortiguador chasis
		Mecanismo de apertura y cierre de puertas
		Switch verificador cierre de puertas
		Juntas de caucho
		Gomas de Estabilización