

## Agradecimientos

A mi familia, especialmente a mis padres Luis y Marisol, mis hermanos Felipe y Marcela, y mi pareja Katherine, por el amor incondicional, ejemplo de sacrificio y constante apoyo entregado a lo largo de mi formación personal y profesional. Por creer siempre en mí y por darme fuerzas cuando lo necesité. Sin ustedes no hubiera sido posible.

A mis amigos y compañeros por el fuerte lazo que nos unió para conseguir nuestros objetivos profesionales.

A don Claudio Flores, Jefe de la Unidad Ferrocarril Teniente 8 y tutor a cargo de mi labor como memorista, por darme su ejemplo y colaboración.

A todo el personal de Maestranza N°1, por permitirme ser uno más dentro de su equipo, por su gran colaboración, apoyo y compañerismo.

A don Orlando Durán, por ser mi profesor guía en la realización de esta memoria y darme todo el apoyo necesario cada vez que lo requerí.

Finalmente, a todo el cuerpo docente de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso por los conocimientos y valores que me entregaron durante esta etapa de mi vida.

## **RESUMEN**

El presente trabajo, nace de la necesidad de establecer nuevas estrategias en los planes de mantenimiento de equipos de servicio y apoyo a la producción del Ferrocarril Teniente 8, nivel de transporte principal de la división El Teniente de CODELCO Chile.

Este se desarrolló en la Maestranza N°1, Colón alto. Contempla un levantamiento y análisis de la información histórica de los equipos principales de servicio y apoyo. Se identifican oportunidades de mejora, proponiendo estrategias de mantenimiento que van alineadas a los requerimientos de la administración vigente.

Los equipos identificados con oportunidad de mejora fueron las locomotoras de servicio NREC, *National Railway Equipment Company* modelo 2GS-16B, las cuales poseen una vital importancia en las labores del área, ya que trasladan equipos y carros encargados de mantener la infraestructura de las vías del nivel y además son capaces de reemplazar locomotoras de producción en el caso que así fuera requerido.

Se llevaron a cabo modificaciones al plan de mantenimiento de estas locomotoras, con el objetivo de actualizar las labores contenidas en las pautas, basado en el propio historial del equipo, y de mejorar constantemente los indicadores basado en herramientas de simulación.

Finalmente se proponen mejoras en diversos ámbitos ligados a la gestión del mantenimiento de la maestranza, que pretenden sentar las bases para futuros ciclos de mejoramiento continuo.

## INDICE

RESUMEN .....	- 2 -
INDICE .....	- 3 -
CAPÍTULO I: “INTRODUCCIÓN” .....	- 6 -
1.1.    Introducción .....	- 6 -
1.2.    Objetivos .....	- 7 -
1.2.1.    Objetivo general.....	- 7 -
1.2.2.    Objetivos específicos .....	- 7 -
CAPÍTULO II: “CONTEXTUALIZACIÓN” .....	- 8 -
2.1    Codelco Chile.....	- 8 -
2.2.    División El Teniente .....	- 9 -
2.2.1.    Proceso.....	- 9 -
2.2.2.    Estructura organizacional .....	- 11 -
CAPÍTULO III: “MARCO TEÓRICO” .....	- 15 -
3.1.    Mantenimiento centrado en confiabilidad, RCM ( <i>Reliability Centered Maintenance</i> )-	15 -
3.1.1.    Análisis de modos de fallos, efectos y criticidad, AMFEC .....	- 16 -
3.1.2.    Número de ponderación del riesgo, NPR .....	- 19 -
3.1.3.    Indicadores clave de desempeño, KPI ( <i>Key Performance Indicators</i> ).....	- 20 -
3.2.    Las 7 preguntas básicas para la implantación de RCM.....	- 22 -
3.2.1.    Funciones y estándares de funcionamiento en la unidad operativa .....	- 22 -
3.2.2.    Fallos funcionales .....	- 23 -
3.2.3.    Modos de fallos.....	- 23 -
3.2.4.    Efectos de fallo .....	- 24 -
3.2.5.    Consecuencias de fallo.....	- 25 -
3.2.6.    Valoración de cada fallo .....	- 25 -
3.2.7.    Actividades proactivas para prevenir los fallos .....	- 29 -
3.3.    Simulación Montecarlo .....	- 31 -
CAPÍTULO IV: “MANTENIMIENTO ACTUAL” .....	- 32 -
4.    Locomotoras “NREC – 2GS-16B” (#661 y #662).....	- 33 -
4.1.    Sistemas en SAP de locomotoras “NREC – 2GS-16B” .....	- 36 -

CAPÍTULO V: “MEJORAMIENTO Y OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE PAUTAS DE MANTENIMIENTO” .....	- 38 -
5.1. Diagramas de Pareto .....	- 38 -
5.1.1. Identificación de sistemas críticos de locomotora #661 .....	- 38 -
5.1.2. Identificación de sistemas críticos de locomotora #662 .....	- 44 -
5.2. Análisis de modos de fallos, efectos y criticidad, AMFEC .....	- 50 -
5.2.1. Resumen de mejoramientos y optimizaciones .....	- 55 -
CAPÍTULO VI: “PROPUESTA DE PAUTA DE CONTROL DE GESTIÓN BASADA EN KPI Y SIMULACIÓN DE MONTECARLO” .....	- 57 -
6.1. KPI de locomotora #661 .....	- 60 -
6.2. KPI de locomotora #662 .....	- 61 -
6.3. Simulación de Montecarlo .....	- 62 -
6.3.1. Simulación Sistema Eléctrico .....	- 63 -
6.3.2. Simulación Sistema de Compresión .....	- 72 -
6.3.3. Simulación Sistema Control y Comando .....	- 76 -
6.3.4. Análisis de Resultados .....	- 86 -
CAPÍTULO VII: “OPORTUNIDAD DE MEJORAMIENTOS” .....	- 88 -
7.1. Funciones y responsabilidades .....	- 88 -
7.2. Capacitación de llenado e ingreso de pautas al sistema .....	- 90 -
7.2.1. Mantenimiento preventivo .....	- 91 -
7.2.2. Mantenimiento correctivo, mejora operacional o equipo accidentado .....	- 91 -
7.3. Gestión de repuestos y materiales .....	- 93 -
7.3.1. Equipo encargado de pautas de mantenimiento .....	- 93 -
7.3.2. Bodeguero/Pañolero .....	- 94 -
CAPÍTULO VIII: “CONCLUSIÓN” .....	- 95 -
BIBLIOGRAFÍA .....	- 96 -
ANEXOS .....	- 97 -
ANEXO I: Listado histórico de avisos de falla de locomotora “NREC – 2GS-16B” #661 ...	- 97 -
ANEXO II: Listado histórico de avisos de falla de locomotora “NREC – 2GS-16B” #662 ..	- 99 -
ANEXO III: Listado de avisos de mantenimiento preventivo de locomotoras “NREC – 2GS-16B” 661 y 662. ....	- 101 -

Locomotora 661:.....	- 101 -
Locomotora 662:.....	- 105 -
ANEXO IV: Planes de mantenimiento y cargas de trabajo teórica de otros equipos de servicio y apoyo a la producción.....	- 111 -
Locomotoras “GM EMD – SW1200” (#654 y #655).....	- 112 -
Locomotoras “Schalke – Servicelokomotiven Codelco” (#663, #664 y #665).....	- 114 -
Bateadora “Plasser&Theurer – 08-275 SP”.....	- 116 -
Aspirador de balasto “Plasser&Theurer – VM 250 S Jumbo”.....	- 118 -
Vehículo ultrasonido de inspección vía “Sperry – 950 Series”.....	- 120 -
Limpiavías “Rockloader Chesta”.....	- 121 -
ANEXO V: Diagramas de Pareto. Sistemas críticos por frecuencia de fallas de otros equipos de servicio y apoyo a la producción. ....	- 123 -
Locomotoras “GM EMD – SW1200” (#654 y #655).....	- 123 -
Locomotoras “Schalke – Servicelokomotiven Codelco” (#663, #664 y #665).....	- 124 -
Bateadora “Plasser&Theurer – 08-275 SP”.....	- 125 -
Aspirador de balasto “Plasser&Theurer – VM 250 S Jumbo”.....	- 127 -
Vehículo ultrasonido de inspección vía “Sperry – 950 Series”.....	- 128 -
Limpiavías “Rockloader Chesta”.....	- 129 -
ANEXO VI: Continuación de hojas AMFEC.....	- 131 -
ANEXO VII: Continuación de Simulaciones Montecarlo.....	- 140 -
Sistema Eléctrico.....	- 140 -
Sistema Compresión.....	- 153 -
Sistema Control y Comando.....	- 159 -
ANEXO VIII: Propuesta de estandarización de formato de pautas de mantenimiento .-	- 172 -
INDICE DE FIGURAS.....	- 173 -
INDICE DE TABLAS.....	- 181 -

## **CAPÍTULO I: “INTRODUCCIÓN”**

### **1.1. Introducción**

Todo proceso productivo requiere de diversas estrategias de mantenimiento de sus sistemas productivos, desde el mantenimiento a la falla hasta mantenimientos más sofisticados existentes en la actualidad, son estrategias que se plantean las administraciones en la búsqueda de mejorar su gestión.

La unidad FFCC Teniente 8 de Codelco, El Teniente, ha planteado mejorar continuamente sus indicadores, para lo cual se requiere identificar oportunidades de mejora. Una de ellas es actualizar el plan de mantenimiento de locomotoras de servicio NREC, *National Railway Equipment Company* modelo 2GS-16B, muy importantes para el proceso y próximas a cumplir su ciclo de mantenciones, lo cual permite un estudio y análisis de la situación actual, para dar inicio a un nuevo ciclo con un plan actualizado que mejore confiabilidad y disponibilidad, optimice tiempos, incluya nuevas actividades, corrija frecuencias y elimine tareas obsoletas.

Un modelo muy utilizado en la División El Teniente y que permite llevar un mejoramiento continuo, es el RCM, *Reliability Centered Maintenance* (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad). Este se aplica a través de un análisis de los modos de fallos, efecto y criticidad, para dar respuesta a las preguntas básicas del modelo, planteando soluciones estratégicas a las diversas causas que originan indisponibilidades.

Se proponen mejoramientos respecto a la carga de trabajo teórica y la creación de una pauta de control de gestión basada en KPI, luego se simulan con el método de Montecarlo indicadores correspondientes a sistemas críticos, obteniendo resultados que permiten identificar qué aspectos afectan o poseen mayor influencia en MTTR, MTBF y disponibilidad. Finalmente, se plantean propuestas basadas en la observación de debilidades, en las áreas de planificación y gestión de repuestos, como también la asignación de responsabilidades.

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo general**

Generar estrategias de mantenimiento para equipos de servicio y apoyo a la producción del nivel de transporte principal de la División El Teniente de Codelco Chile, según el requerimiento operacional definido, con el fin de optimizar y mejorar la eficiencia del desempeño actual.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- Conocer las mantenciones actuales realizadas a los equipos.
- Analizar y evaluar la carga de trabajo teórica de los talleres.
- Mejorar y optimizar el sistema de pautas de mantenimiento.
- Elaborar una pauta de control de gestión basada en KPI.
- Generar estrategias de mantenimiento.

## **CAPÍTULO II: “CONTEXTUALIZACIÓN”**

### **2.1 Codelco Chile**

Codelco es el primer productor de cobre del mundo y posee, además, cerca del nueve por ciento de las reservas mundiales del metal rojo.

El nombre Codelco representa a la Corporación Nacional del Cobre de Chile, una empresa autónoma propiedad del Estado chileno, cuyo negocio principal es la exploración, desarrollo y explotación de recursos mineros de cobre y subproductos, su procesamiento hasta convertirlos en cobre refinado, y su posterior comercialización.

Posee activos por US\$ 33.355 millones, y un patrimonio que a fines de 2013 ascendía a US\$ 12.408 millones. Codelco, en el 2013, produjo 1,79 millón de toneladas métricas de cobre refinado (incluida su participación en el yacimiento El Abra y en Anglo American Sur). Esta cifra equivale al 10% de la producción mundial. Su principal producto comercial es el cátodo de cobre grado A.

La compañía ejecuta sus operaciones a través de siete divisiones mineras más la Fundición y Refinería Ventanas, que pertenece a Codelco desde mayo de 2005. La División Ministro Hales, la más nueva de las Divisiones, inició a fines de 2013 su puesta en marcha como operación minera. Su estrategia corporativa es coordinada desde la Casa Matriz ubicada en Santiago de Chile.

La Corporación participa además en la propiedad de importantes empresas mineras como El Abra, en la que posee el 49%; Anglo American Sur donde participa en 29,5% de la propiedad junto a la japonesa Mitsui y otras asociaciones mineras orientadas a la explotación geológica, tanto en Chile como en el exterior.

## 2.2. División El Teniente

Ubicada a 56 km de Rancagua, en la Sexta Región de Chile y enclavada a 2.100 metros sobre el nivel del mar, en plena cordillera de Los Andes, El Teniente es la mina subterránea de cobre más grande del mundo. Cuenta aproximadamente con 2.400 km de túneles.

### 2.2.1. Proceso

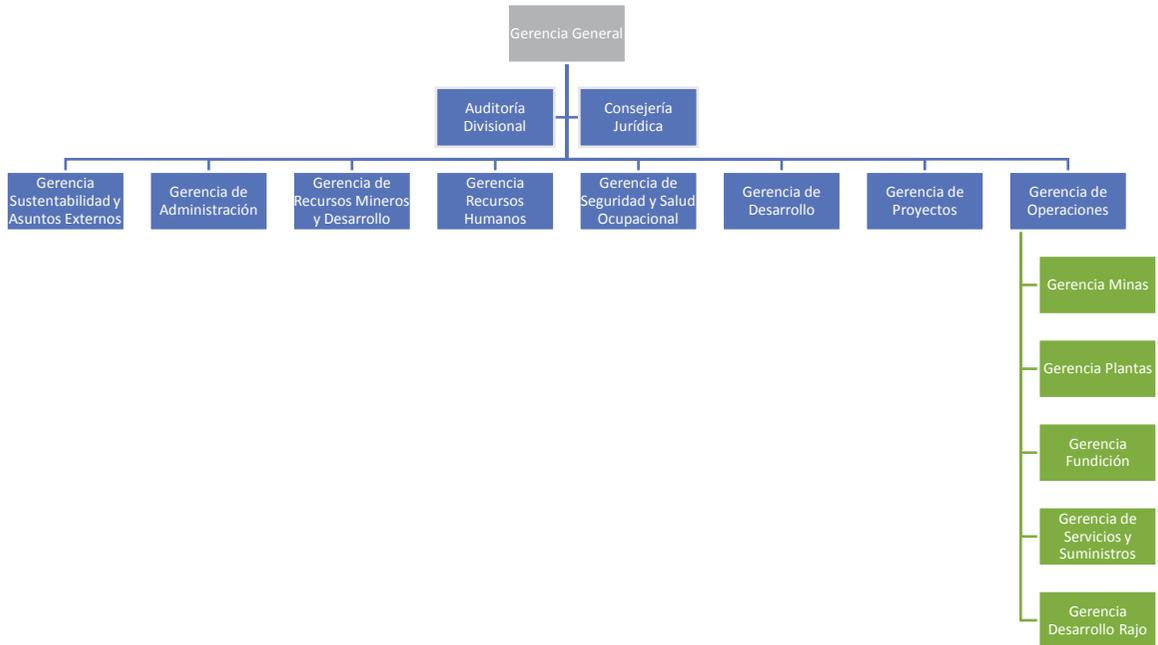
Según Codelco, la mina produce 418.330 toneladas métricas de cobre fino al año, las que se procesan en el mismo complejo minero y luego se envían a la fundición Caletones, donde se produce el producto final llamado refinado anódico de cobre. Además como subproductos se obtiene molibdeno, ácido sulfúrico, plata y oro.

- **Exploración Geológica:** En la exploración se identifica la presencia de un yacimiento y sus características, se determina la ley de mineral y la forma de explotarlo.
- **Extracción, Carguío y Transporte:** Las rocas mineralizadas extraídas de la mina y de un tamaño adecuado, son cargadas y transportadas a la planta en camiones o tren en forma eficiente y segura, para continuar el proceso productivo del cobre.
- **Chancado:** A partir de las etapas de chancado primario y secundario (eventualmente terciario), se obtiene un material mineralizado de un tamaño máximo de 1½ a 1¾ pulgadas.
- **Molienda:** Mediante molinos se continúa reduciendo las partículas de mineral hasta obtener un tamaño máximo de 0,18 [mm]. Con esto se forma una pulpa con agua y reactivos que se lleva a la flotación.
- **Flotación:** En las celdas de flotación se genera espuma, cuyas burbujas atrapan el cobre y otros minerales sulfurados contenidos en la pulpa. Luego de varios ciclos, se recolecta y se seca esta espuma para obtener el concentrado de cobre que continúa su purificación.

- **Fundición:** Para separar el cobre de otros minerales e impurezas, el concentrado de cobre seco se trata a grandes temperaturas en hornos especiales. Luego de varios procesos se obtiene refinado anódico el que es moldeado en placas de un peso aproximado de 225 [kg].
- **Electro Refinación:** Los ánodos provenientes de la fundición se llevan a celdas electrolíticas para su refinación. De este proceso se obtienen cátodos de alta pureza o cátodos de cobre electrolítico de 99,99 % de cobre y de un peso entre 70 y 80 [kg].

### 2.2.2. Estructura organizacional

La División El Teniente es administrada por una Gerencia General, la cual administra las gerencias mostradas en la figura 1.

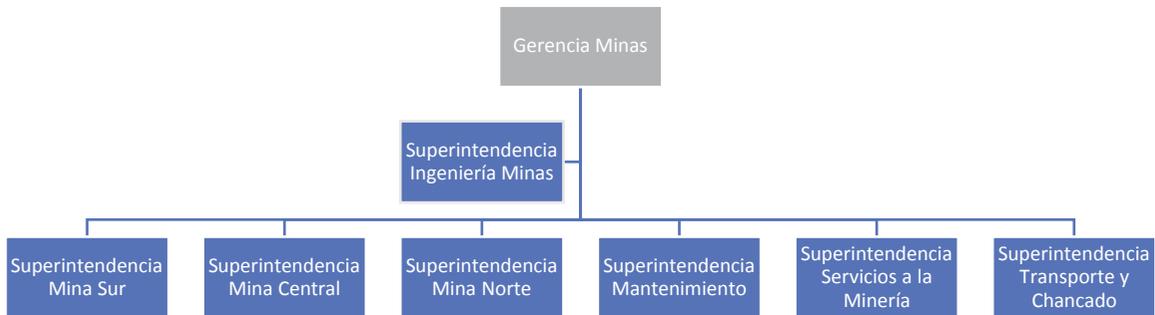


*Fig. 1 Organigrama de Gerencias, División El Teniente.*

*Fuente:* [http://www.codelco.com/organigrama-division-el-teniente/prontus\\_codelco/2011-02-25/155019.html](http://www.codelco.com/organigrama-division-el-teniente/prontus_codelco/2011-02-25/155019.html)

### 2.2.3.1. Gerencia Minas

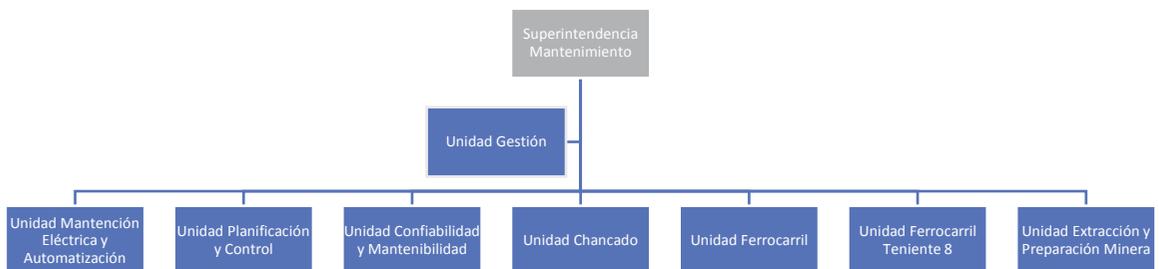
La Gerencia Minas administra siete Superintendencias, mostradas en la figura 2.



*Fig. 2 Organigrama de Superintendencias de la Gerencia de Minas, División El Teniente.  
Fuente: <http://shpteapp.codelco.cl/sites/msmi/SitePages/Vision.aspx>*

### 2.2.3.2. Superintendencia Mantenimiento

La Superintendencia Mantenimiento Mina administra 8 unidades, mostradas en la figura 3.



*Fig. 3 Organigrama de Unidades de la Superintendencia Mantenimiento, Gerencia de Minas, División El Teniente.  
Fuente: <http://shpteapp.codelco.cl/sites/msmi/superintendencias/SMM/SitePages/default.aspx>*

### 2.2.3.3. Unidad Ferrocarril Teniente 8<sup>1</sup>

La unidad de Mantenimiento FFCC Teniente 8 de la Superintendencia Mantenimiento Mina, está a cargo del mantenimiento integral de los activos involucrados en el proceso de transporte principal de mineral grueso y fino (primario) de la mina. Esta tiene el objetivo de entregar funcionalidad y confiabilidad a la operación de este proceso crítico dentro de la División.

Los activos y áreas involucradas en la gestión de mantenimiento de esta Unidad son las locomotoras de producción, carros de producción, equipos de servicio, buzones de carguío e infraestructura asociada al nivel Teniente 8 de la mina El Teniente, el cual se extiende desde interior mina hasta chancado y molienda, y se muestra en la figura 4.



*Fig. 4 Layout Ferrocarril Teniente 8.  
Fuente: Google Maps (34°05'04.2''S 70°26'47.0''W)*

<sup>1</sup> Unidad Ferrocarril Teniente 8;  
<http://shpteapp.codelco.cl/sites/msmi/superintendencias/SMM/UFT8/Paginas/default.aspx>; fecha de consulta: 29-09-2014.

## CAPÍTULO III: “MARCO TEÓRICO”

### 3.1. Mantenimiento centrado en confiabilidad, RCM (*Reliability Centered Maintenance*)<sup>2</sup>

Probablemente el modelo más difundido en el contexto del proceso de mantenimiento es el de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM), que nace en los años 70 en la industria aeronáutica civil de EE.UU. A raíz de una iniciativa de viabilidad económica, el avión comercial más grande del mundo (Boeing-747), que según los preceptos de Mantenimiento Planificado, válido para las aeronaves hasta entonces exigía excesivos costos y tiempos de mantenimiento al punto de cuestionar su rentabilidad. A raíz de los estudios realizados, se elaboró una metodología que ofrecía una reducción selectiva de tareas de mantenimiento sin poner en peligro la fiabilidad y seguridad del aparato.

Dicha metodología, que luego fue perfeccionada por John Moubray, consiste en aplicar el conocido método de AMFEC (Análisis Modal de Fallos Efectos y Criticidad) aplicado al diseño y proceso en la industria, ampliándolo luego a la valoración de consecuencias. Se parte de las necesidades de cumplimiento de una función por cierto activo expresado en términos de parámetros preferiblemente medibles. Luego se plantean posibles desviaciones de este cuadro paramétrico en términos de modos de fallos, luego se plantean los posibles efectos, consecuencias y su criticidad.

El RCM, es una metodología racional para determinar la integración óptima de los modelos conocidos de Mantenimiento Reactivo, Proactivo, Mejoras e incluso mantenimiento por detección de fallos ocultos; este enfoque representa un cambio radical en el desarrollo histórico del mantenimiento; porque antes del RCM, el Preventivo y Planificado se centraba en los activos y el RCM se centra en las ubicaciones y procesos productivos. Antes el Mantenimiento Preventivo era clónico independientemente de la función y el proceso donde interviniese. A partir de la aplicación del

---

<sup>2</sup> Gardella González, Marc. (2011). Tesis doctoral: Mejora de metodología RCM a partir del AMFEC e implantación de mantenimiento preventivo y predictivo en plantas de procesos, pág. 41-51.

RCM, el mismo activo tiene distintas aplicaciones y frecuencias de intervenciones de mantenimiento dependiendo de la criticidad del proceso donde intervenga.

Como muy bien define Moubray y August el RCM es una metodología para determinar las actividades de mantenimiento, reactivas y proactivas, con objeto de optimizar la confiabilidad de los activos industriales, minimizando los fallos operacionales y/o sus consecuencias para la seguridad y medio ambiente, calidad, producción y mantenimiento de las instalaciones industriales. Se trata de un análisis inductivo/deductivo que de hecho todos hacen intuitivamente, en mayor o menor medida, en un ámbito industrial. La diferencia es que con esta metodología se “sistematiza el pensamiento” para evitar omisiones, prejuicios o juicios precipitados, conclusiones prematuras, falta de detalle y rigor y otras deficiencias que surgen de la fiabilidad limitada de un análisis no sistemático.

### **3.1.1. Análisis de modos de fallos, efectos y criticidad, AMFEC**

AMFEC es la parte de RCM, expresado mediante una hoja que determina todos los fallos que pueden surgir en el funcionamiento de un activo, así como su impacto en seguridad y medio ambiente, calidad, producción y mantenimiento. Posibilita asimismo una valoración de cada uno de estos fallos y cuantificarlos con un número que agrupa dicha valoración, llamado Número de Ponderación del Riesgo (NPR).

La realización de un proceso de AMFEC para un activo es costosa en tiempo. Cuando se llega a una cantidad de aplicaciones de AMFEC de equipos, se tiene del orden de un 90% de todos los posibles modos de fallos que ocurren en un centro industrial o productivo. Por tanto, existe la necesidad de crear bases de datos de modos de fallos, para minimizar el tiempo de realización de nuevos AMFEC de un equipo. Siendo el tiempo aplicado para definir:

- Función proceso
- Parámetros
- Fallos funcionales
- Modos de fallos específicos a la localización del equipo

- Efectos y consecuencias características
- Impacto en seguridad, medio ambiente, calidad, producción y mantenimiento

La tabla N°1 muestra la información base requerida para completar el análisis de modos de fallos, efectos y criticidad AMFEC, en lo que respecta a la valoración de los fallos.

AMFEC			Centro Industrial: Codeco - El Teniente Sección/Planta/Código: GMIN – SMM Instalación/Activo: Unidad FFCC Tte. 8 – M1			Subsistema: Código:			N° Proyecto-Ingeniería: Proyecto de Titulación Elaborado por: Luis Antonio San Martín Mejías Revisado por: Autorizado por:			Fecha elaboración Versión: 1.0 HOJA 1 de 2		
Activo: Locomotora #661 (NREC 2GS-16B)			Código: TNL1			BREVE DESCRIPCIÓN DE LA FUNCIÓN/PROCESO DONDE INTERVIENE EL ACTIVO EN EL CONTEXTO OPERATIVO: Locomotoras de servicio y apoyo a la producción, FFCC Teniente 8. Nivel de transporte principal mina El Teniente.								
FUNCIÓN/PROCESO	PARÁMETRO	FALLOS FUNCIONALES	MODOS DE FALLO			EFECTOS DE FALLOS	CONSECUENCIAS DE FALLO					VALORACIÓN DE RIESGO		
			CLASIFICACIÓN A	CLASIFICACIÓN B	CLASIFICACIÓN C		FALLO OCULTO	SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE	PRODUCCIÓN	MANTENIMIENTO	CALIDAD	GRAVEDAD	FRECUENCIA DE FALLOS	DETECTABILIDAD

*Tabla 1 Hoja AMFEC para valoración de fallos.*

### 3.1.2. Número de ponderación del riesgo, NPR

El Número de Ponderación del Riesgo (NPR) lo forman tres elementos:

- **Gravedad:** Define la gravedad de los efectos ocurridos si sucede el fallo en la máquina o instalación de estudio.
- **Frecuencia de Fallos:** Número de sucesos ocurridos en un intervalo de tiempo.
- **Detectabilidad:** Mayor o menor facilidad de detectar una causa de fallo según recursos humanos y técnicos disponibles.

Se multiplican los valores de Gravedad x Frecuencia de Fallo x Detectabilidad y se obtiene el NPR para cada modo de fallo. Su utilidad permite alertar en menor o mayor medida al analista a reforzar los métodos de mantenimiento. Cada parte del NPR se pondera del 1 al 10 según la importancia; por tanto el NPR va desde 1 hasta 1000.

En la propia operativa de utilización de la herramienta RCM, surge la necesidad de definir los rangos del NPR, ya que el riesgo se debe acotar de acuerdo a los resultados obtenidos.

### **3.1.3. Indicadores clave de desempeño, KPI (*Key Performance Indicators*)<sup>3</sup>**

Además de las tareas de implementación de las estrategias de mantenimiento, está también la tarea de hacer el seguimiento del proceso y su evaluación. La selección de los indicadores para la medición es una tarea sensible y es la clave para una correcta evaluación. Los parámetros de eficiencia deben chequear la validez de las políticas de mantenimiento y la configuración de los parámetros de un componente específico. Cuando los resultados son malos, el componente debe ser re-examinado. La mejor manera para saber qué tan buenos son será mediante el cálculo de algunos indicadores de eficiencia.

Los indicadores clave de desempeño son mediciones cuantificables acordadas de antemano, que reflejan los factores críticos de éxito de una organización. Serán diferentes en función de la organización. Cualesquiera sean los indicadores clave de desempeño seleccionados, estos deben reflejar los objetivos de la organización, deben ser clave para su éxito, y deben ser cuantificables (medibles). La definición de lo que son y cómo se miden no debe cambiar a menudo. Los objetivos de un determinado indicador clave de desempeño pueden cambiar a medida que cambian las metas de la organización, o como se acerca a la consecución de un objetivo.

Los KPI son importantes para la organización porque son altamente efectivos para exponer, cuantificar y visualizar deficiencias. Además son efectivos motivadores. Su esencia es eliminar todas las actividades que no agregan valor para su cliente. Los KPI efectivos cuantifican ineficiencias, proveen un sistema de alarma temprana para procesos operando fuera de la norma y ofrecen importantes indicaciones donde los esfuerzos de mejoramiento deben enfocarse.

La tabla N°2 muestra KPI indispensables del mantenimiento: disponibilidad neta, MTBF, MTTR y disponibilidad.

---

<sup>3</sup> Espinosa Fuentes, Fernando. (2010). Charlas para la gestión del mantenimiento: Indicadores de eficiencia para el mantenimiento, pág. 5-11.

Indicador	Fórmula
Disponibilidad Neta	$\frac{t_{disponible}}{t_{nominal}} [\%]$
Tiempo medio entre fallas, MTBF ( <i>Mean Time Between Failures</i> )	$MTBF = \frac{t_{disponible}}{n^{\circ} \text{ de fallas}} [h]$
Tiempo Medio para Reparar, MTTR ( <i>Mean Time To Repair</i> )	$MTTR = \frac{t_{paradas}}{n^{\circ} \text{ de paradas}} [h]$
Disponibilidad	$\frac{MTBF}{MTBF + MTTR} [\%]$

*Tabla 2 KPI indispensables del mantenimiento.*

### **3.2. Las 7 preguntas básicas para la implantación de RCM<sup>4</sup>**

1. ¿Cuáles son las funciones y estándares de funcionamiento en la ubicación operativa?
2. ¿Cómo se puede dejar de cumplir las funciones?
3. ¿Qué puede originar cada fallo funcional?
4. ¿Qué efectos provocan los fallos?
5. ¿Qué consecuencias provocan los fallos?
6. ¿Qué valoración tienen los fallos?
7. ¿Qué actividades se pueden realizar para prevenir o evitar que aparezcan los fallos?

#### **3.2.1. Funciones y estándares de funcionamiento en la unidad operativa**

La primera pregunta en la secuencia metodológica del RCM es: ¿Cuáles son las funciones y estándares de funcionamiento en la ubicación operativa?, dicho de otro modo ¿Para qué sirve el activo bajo estudio?

Hay que definir, de manera concisa la función primaria del activo, pero también funciones secundarias relevantes. Hay que ser muy incisivo en este primer paso, ya que si aquí se omite algo, el análisis será incompleto. Lo importante es efectuar una “tormenta de ideas”, donde varios participantes puedan hacer aflorar las funciones primarias o secundarias desde diversos puntos de vista. Claro está, este desglose tiene un límite racional, por ello se requiere de sentido común y experiencia.

Acto seguido hay que asociar parámetros a las funciones, cuantitativos de ser posible, refiriéndose a los parámetros relevantes de proceso. Cuanto mejor definido o parametrizado sea el funcionamiento, la secuencia del análisis RCM será más directa y la selección del tipo de mantenimiento adecuado será más fácil. En este lugar hay que destacar el aspecto tal vez más importante de la filosofía RCM: los parámetros de proceso que describan las funciones

---

<sup>4</sup> Gardella González, Marc. (2011). Tesis doctoral: Mejora de metodología RCM a partir del AMFEC e implantación de mantenimiento preventivo y predictivo en plantas de procesos, pág. 55-72.

del activo bajo estudio, tienen que ser valores que debe cumplir el activo, no los que puede dar. No confundir la demanda con la capacidad de proceso.

### **3.2.2. Fallos funcionales**

La segunda pregunta en la secuencia metodológica del RCM es: ¿Cómo se puede dejar de cumplir las funciones? Es evidente que cualquier desviación operativa del activo de las funciones previamente bien definidas y parametrizadas, constituye un Fallo Funcional. He aquí una gran diferencia del enfoque tradicional del mantenimiento que es sensible a la avería, cese total de función.

En una cultura esencialmente reactiva, el nivel de negligencia es alto y se empieza a reaccionar cuando, en muchas ocasiones, los daños y perjuicios ya se han experimentado. Una necesaria sutileza de observación, debe ser reflejada en los procedimientos operativos del Mantenimiento Preventivo, claro está, según los niveles de criticidad.

El concepto de Riesgo debe ser bien comprendido en la metodología RCM, sin tampoco exagerar ni ser demasiado precavido, porque esto conllevaría la irracionalidad del método. En todos los pasos del RCM surgen dudas de tipo cuantitativo “¿cuánto mucho es mucho?”. Por ello hay que consensuar, debatir, confrontar constructivamente las opiniones y obtener una conclusión dentro de lo razonable. El RCM no es infalible. Es un proceso vivo.

### **3.2.3. Modos de fallos**

La tercera pregunta en la secuencia metodológica del RCM es: ¿Qué puede originar cada fallo funcional? Es, sin duda alguna, el paso más técnico de toda la secuencia del RCM. Se trata de encontrar las causas más probables para cada fallo funcional.

En este paso hay que aunar los esfuerzos de distintos participantes expertos en diversas áreas, mecánica, eléctrica, instrumentación, control, etc.

El tema no es trivial en absoluto, porque algunas causas (modos de fallo) son manifestaciones (síntomas) de unos males más profundos o elementales.

Por ello, tal y como se sugiere en la “Hoja de AMFEC” en este documento, es recomendable subdividir la columna de modos de fallo en tres niveles: nivel A, nivel B, nivel C; por supuesto, no necesariamente hay que desglosar siempre hasta el tercer nivel; también a veces, la complejidad es tal que no basta profundizar a tres niveles. Es lo más engorroso del RCM.

#### **3.2.4. Efectos de fallo**

La cuarta pregunta en la secuencia metodológica del RCM es: ¿Qué efectos provocan los fallos? Se refiere a los efectos de cada uno de los modos de fallos. No confundir con las consecuencias de fallo. Los efectos de fallo responden a la pregunta ¿qué ocurre?, mientras las consecuencias de fallo responden a la pregunta ¿qué tanto importa el efecto?

Cuando se rellena el formato de AMFEC, en la columna efectos de fallo hay que anotar de manera concisa:

- ¿Cuál es la evidencia (si existe) del fallo ocurrido?
- ¿De qué manera (si procede), el fallo amenaza la seguridad y medio ambiente?
- ¿De qué manera (si procede) afecta la producción y operaciones en general, o si origina daños secundarios?
- ¿Qué daño físico (si alguno) origina en el sistema?
- ¿Qué dificultades (si alguna) habrá para reparar el daño a mantenimiento?

### **3.2.5. Consecuencias de fallo**

La quinta pregunta en la secuencia metodológica del RCM es: ¿Qué consecuencias provocan los fallos? Es la mayor contribución del RCM, más allá del análisis AMFEC. La gestión de consecuencias de fallos, representa más que la simple predicción, prevención o mejora en sí. Es decir, puede matizarse la anterior pregunta: ¿qué secuela práctica tendría el fallo si no se hiciera nada para detectar, predecir o prevenirlo? El Mantenimiento Proactivo moderno, está dirigido hacia la eliminación o disminución de consecuencias negativas de fallos, más que hacia la prevención de los mismos.

En la metodología RCM suelen subdividirse las consecuencias de fallos en las siguientes categorías:

1. Seguridad y medio ambiente.
2. Impacto en la producción.
3. Impacto en el mantenimiento.
4. Fallo oculto (no evidente para el personal operativo en condiciones normales).
5. Consecuencias no operacionales.

### **3.2.6. Valoración de cada fallo**

A cada modo de fallo hay que asignar un Número de Ponderación de Riesgo (NPR) que conducirá al analista en la selección adecuada de métodos de predicción, prevención o detección de fallos y también las necesidades de mejora. Es la típica valoración de un AMFEC, tanto de proceso como de diseño, aunque en el caso de RCM está orientado hacia el control de fallos y/o sus consecuencias.

### **3.2.6.1. Gravedad**

**Valor 1:** Las consecuencias del fallo son despreciables. Ninguna trascendencia para la seguridad y afines, producción y calidad. Eventualmente pueden tener alguna mínima consecuencia para el coste directo del Mantenimiento.

**Valor 2 y 3:** No hay consecuencias para seguridad y afines, producción y calidad; puede tener alguna consecuencia baja o moderada para los costos directos del mantenimiento.

**Valor 4, 5 o 6:** Los efectos tienen consecuencia importante en los costos directos del mantenimiento y una pequeña influencia adversa en la producción y/o calidad, pudiendo causar paradas cortas no programadas, ciertas mermas o rechazo de calidad. Pueden causar pequeños fallos secundarios ocultos de poca importancia. Ninguna influencia en la seguridad y medio ambiente.

**Valor 7 y 8:** Importante impacto del efecto de fallo en la producción y/o calidad y/o elevados costos directos de mantenimiento. También se consideran en este rango importantes fallos en cadena ocultos. Se consideran también pequeños o moderados efectos negativos para la seguridad y afines.

**Valor 9 y 10:** Se trata de graves consecuencias para seguridad y afines. También entran interrupciones muy costosas por concepto de impacto en la producción y/o calidad.

### **3.2.6.2. Frecuencia de fallo**

Si se dispone de datos históricos, pueden calcularse los MTBF. Pueden hacerse análisis tipo Weibull u otros, en casos muy críticos. También pueden ayudar los datos del fabricante. En la mayoría de los casos ocurridos se aplica la estimación por experiencia.

**Valor 1:** Tasa de fallos: menos de 1 en más de 10 años.

**Valor 2:** Tasa de fallos: entre 1 y 3 en más de 10 años.

**Valor 3:** Tasa de fallos: entre 1 y 3 en 10 años.

**Valor 4:** Tasa de fallos: entre 1 y 3 en 5 años.

**Valor 5:** Tasa de fallos: entre 1 y 3 en 2 años.

**Valor 6:** Tasa de fallos: entre 1 y 3 por año.

**Valor 7:** Tasa de fallos: entre 1 y 3 cada seis meses.

**Valor 8:** Tasa de fallos: entre 1 y 3 cada dos meses.

**Valor 9:** Tasa de fallos: entre 1 y 3 cada semana.

**Valor 10:** Tasa de fallos: entre 1 y 3 por día.

### **3.2.6.3. Detectabilidad**

Este aspecto es uno de los principales méritos del RCM. Hasta un 40% de fallos en una industria de procesos altamente automatizada son de tipo oculto. Además, el diagnóstico acapara hasta un 80% del tiempo total de una intervención. Por lo tanto, actualmente más de un tercio de actividades de mantenimiento pueden canalizarse hacia el diagnóstico de fallos ocultos.

El Mantenimiento Preventivo tradicional en raras ocasiones plantea necesidad de búsqueda y detección de fallos ocultos, secundarios, ocurridos por un fallo reparado en precario o por el falseo de la indicación (sistemas de seguridad, aviso, alarma etc. tienen su propia fiabilidad). El tema de la detectabilidad es la clave para seleccionar correctamente el método de mantenimiento.

**Valor 1:** No hay ninguna duda de que el fallo será detectado de inmediato, por cualquier persona y sin ambigüedad.

**Valor 2:** La detección es prácticamente certera. Probablemente tendrá que verla algún técnico u operario especializado.

**Valor 3, 4, 5:** La detección es razonablemente fiable. Hay que aplicar algún método, técnica o instrumento y/o se tardará algún tiempo en diagnosticar definitivamente.

**Valor 6, 7, 8:** La detección implica riesgos de no acertar, se necesitan medios y tiempo relativamente largos para diagnosticar el fallo.

**Valor 9 y 10:** La detección es extremadamente difícil, o prácticamente inviable en las condiciones tecnológicas actuales.

#### **3.2.6.4. Número de ponderación de riesgo, NPR**

Se multiplican los valores de Gravedad x Frecuencia de Fallo x Detectabilidad y se obtiene el NPR para cada modo de fallo. Su utilidad consiste en alertar en menor o mayor medida al analista a reforzar los métodos de mantenimiento. Aunque no es necesario cuantificar cuánto mantenimiento es necesario para cada nivel de NPR, la influencia de un mayor NPR puede requerir de:

- Mejoras constructivas para favorecer la detectabilidad.
- Mayor número de métodos cruzados para el diagnóstico técnico o Mantenimiento Predictivo (mayor fiabilidad de diagnóstico).
- Pautas de mantenimiento preventivo más exhaustivas y/o frecuentes.
- Materiales y elementos de máquinas de mayor calidad.
- Etc.

### **3.2.7. Actividades proactivas para prevenir los fallos**

Una vez que se han analizado las causas y efectos de las causas de fallos provocados en máquinas e instalaciones y ponderado el riesgo, se debe responder a la pregunta ¿Qué actividades se pueden realizar para prevenir o evitar que aparezcan los fallos? Lo que se pretende es prevenir el efecto y que las repercusiones a la seguridad, medio ambiente, calidad del producto, indisponibilidad de instalaciones por paradas de máquinas (producción) y mantenimiento realizado, sean las mínimas. Con todo ello, una buena implantación del sistema descrito lleva a una reducción de costos.

Definiendo tres rangos de NPR pueden encauzarse las decisiones sobre los tipos de mantenimiento. Los valores de NPR pueden variar desde 1 (valor mínimo) hasta 1000 (valor máximo). No obstante el valor total del NPR para cada modo de fallo, se debe examinar por separado cada uno de los tres factores que lo constituyen: gravedad, frecuencia de fallo y detectabilidad.

La tabla N°3 muestra la información requerida en una hoja AMFEC respecto a actividades proactivas para prevenir fallos (estrategias propuestas).

<b>AMFEC</b>			Centro Industrial: Codelco - El Teniente Sección/Planta/Código: GMIN – SMM Instalación/Activo: Unidad FFCC Tte. 8 – M1			Subsistema: Código:		N° Proyecto-Ingeniería: Proyecto de Titulación Elaborado por: Luis Antonio San Martín Mejías Revisado por: Autorizado por:			Fecha elaboración: Versión: 1.0 HOJA 1 de 2	
Activo: Locomotora #661 (NREC 2GS-16B)			Código: TNL1									
BREVE DESCRIPCIÓN DE LA FUNCIÓN/PROCESO DONDE INTERVIENE EL ACTIVO EN EL CONTEXTO OPERATIVO: Locomotoras de servicio y apoyo a la producción, FFCC Teniente 8. Nivel de transporte principal mina El Teniente.												
FUNCIÓN/PROCESO	PARÁMETRO	FALLOS FUNCIONALES	MODOS DE FALLO			EFECTOS DE FALLOS	VALORACIÓN DE RIESGO				ESTRATEGIAS PROPUESTAS	
			CLASIFICACIÓN A	CLASIFICACIÓN B	CLASIFICACIÓN C		GRAVEDAD	FRECUENCIA DE FALLOS	DETECTABILIDAD	N.P.R.		

*Tabla 3 Hoja AMFEC para prevención de fallos.*

### 3.3. Simulación Montecarlo<sup>5</sup>

La simulación de Montecarlo es una técnica que combina conceptos estadísticos (muestreo aleatorio) con la capacidad que tienen los computadores para generar números pseudo-aleatorios y automatizar cálculos.

Los orígenes de esta técnica están ligados al trabajo desarrollado por Stan Ulam y John Von Neumann a finales de los años 40 en el laboratorio de Los Alamos, cuando investigaban el movimiento aleatorio de los neutrones. En años posteriores, la simulación de Montecarlo se ha venido aplicando a una infinidad de ámbitos como alternativa a los modelos matemáticos exactos o incluso como único medio de estimar soluciones para problemas complejos. Así, en la actualidad es posible encontrar modelos que hacen uso de simulación Montecarlo en las áreas informática, empresarial, económica, industrial e incluso social. En otras palabras, la simulación de Montecarlo está presente en todos aquellos ámbitos en los que el comportamiento aleatorio o probabilístico desempeña un papel fundamental -precisamente, el nombre de Montecarlo proviene de la famosa ciudad de Mónaco, donde abundan los casinos de juego y donde el azar, la probabilidad y el comportamiento aleatorio conforman todo un estilo de vida.

Son muchos los autores que han apostado por utilizar hojas de cálculo para realizar simulación Montecarlo. La potencia de las hojas de cálculo reside en su universalidad, en su facilidad de uso, en su capacidad para recalcular valores y, sobre todo, en las posibilidades que ofrece con respecto al análisis de escenarios (“what-if analysis”). Las últimas versiones de Excel incorporan, además, un lenguaje de programación propio, el Visual Basic for Applications, con el cual es posible crear auténticas aplicaciones de simulación destinadas al usuario final. En el mercado existen de hecho varios complementos de Excel (Add-Ins) específicamente diseñados para realizar simulación Montecarlo, siendo los más conocidos: @Risk, Crystal Ball, Insight.xla, SimTools.xla, etc.

---

<sup>5</sup> Simulación Montecarlo con Excel; [http://www.uoc.edu/in3/emath/docs/Simulacion\\_MC.pdf](http://www.uoc.edu/in3/emath/docs/Simulacion_MC.pdf); fecha de consulta 05-06-2014.

## CAPÍTULO IV: “MANTENIMIENTO ACTUAL”

El mantenimiento de equipos de servicio y apoyo a la producción, pertenecientes a la Maestranza 1 del Ferrocarril Teniente 8, se realiza de acuerdo a las horas de funcionamiento del motor de cada equipo, para lo cual todos los equipos incorporan un horómetro. Las frecuencias pueden ser variadas de acuerdo al plan de mantenimiento y ciclo de mantenciones que se esté administrando, el cual por ejemplo podría contemplar pautas de 250, 500, 750, 1000, 1250 horas según se determina inicialmente por las recomendaciones del fabricante y luego tomando en cuenta lo anterior y el historial propio del equipo. Las horas de funcionamiento de cada equipo se encuentran en el sistema SAP<sup>6</sup>, y es responsabilidad de planificación la programación, creación y cierre de los avisos correspondientes a cada pauta que se deba realizar. La figura 5 muestra la locomotora 661 durante un mantenimiento preventivo.



*Fig. 5 Mantenimiento de Locomotora #661 en línea #11 Maestranza 1, Colón Alto. Mayo de 2014.*

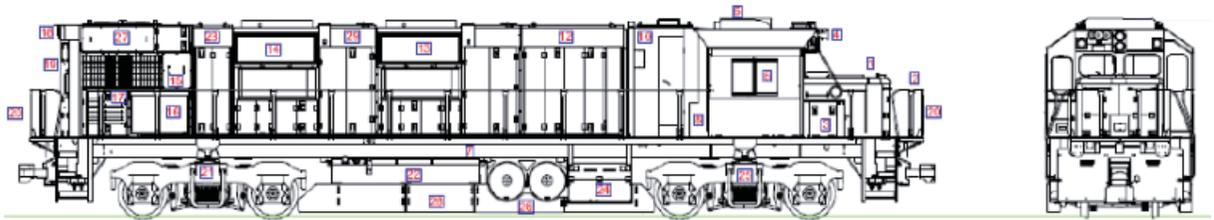
---

<sup>6</sup> SAP Business Suite; [http://es.wikipedia.org/wiki/SAP\\_Business\\_Suite](http://es.wikipedia.org/wiki/SAP_Business_Suite); fecha de consulta: 16-12-2014.

A continuación se analiza la carga de trabajo en los planes de mantenimiento existentes en SAP en cuanto a duración de las labores, número de mantenedores y HH teóricas, de las locomotoras de servicio “NREC – 2GS-16B” (conocidas como #661 y #662), con el objetivo de avalar o proponer cambios en la información<sup>7</sup>.

#### 4. Locomotoras “NREC – 2GS-16B” (#661 y #662)

Son locomotoras diesel-eléctricas que poseen 2 motores Diesel Cummins modelo QSK19 en los que cada uno impulsa un generador principal. La energía de los generadores principales se distribuye a motores de tracción ubicados en cada bogie, al compresor de aire, ventilador de refrigeración, entre otras funcionalidades. La figura 6 muestra las vistas lateral y frontal de la locomotora.



*Fig. 6 Plano vistas lateral y frontal de Locomotora “NREC – 2GS-16B”.*

Estas locomotoras están destinadas a labores de servicio que son vitales para la mantención de la infraestructura vial, como es el transporte del equipo limpiavías, barrenieve, carros de servicio, etc. Y que además por su potencia son capaces de reemplazar a una locomotora de producción, cuya función es transportar el mineral desde los buzones en interior mina hacia la planta de chancado.

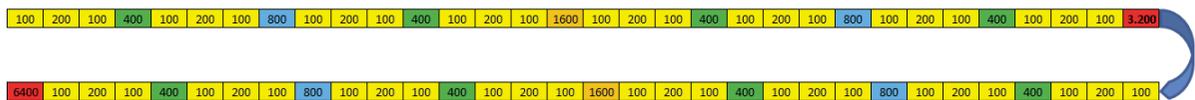
---

<sup>7</sup> Para ver carga de trabajo de otros equipos de servicio y apoyo a la producción que fueron analizados, revisar Anexo IV.



Como nueva estrategia se plantea acortar el ciclo de mantenencias haciendo posible para la administración re-evaluar y tomar decisiones respecto a los planes de mantenimiento en un menor plazo, y a la vez disminuir indisponibilidades ya que al tener un mantenimiento preventivo más frecuente, se espera disminuir fallas que actualmente implican paradas no planificadas (mantenimiento correctivo).

La figura 8 muestra el ciclo de mantenencias propuesto, el cual contempla pautas de mayor frecuencia (cada 100, 200, 400, 800, 1600, 3200 y 6400 horas). De esta manera al utilizar las locomotoras la tasa promedio diaria, el ciclo de mantenencias se cumple aproximadamente cada 5 años.



*Fig. 8 Ciclo de Mantenencias propuesto Locomotoras “NREC – 2GS-16B”.*

La tabla N°5<sup>9</sup> resume la carga de trabajo teórica del plan propuesto:

Plan de Mantenimiento	Frecuencia (Horómetro Motor)	N° de Trabajadores	Duración	Total HH
<b>661:</b> _____ <b>662:</b> _____	100	4	12	48
	200	4	32	128
	400	5	48	240
	800	5	48	240
	1600	5	96	480
	3200	6	120	720
	6400	6	120	720

*Tabla 5 Carga de trabajo teórica propuesta, correspondiente al ciclo de mantenimiento modificado de las locomotoras “NREC – 2GS-16B” #661 y #662.*

<sup>9</sup> En conjunto al ciclo propuesto, se crea una pauta de frecuencia cada 5 días llamada “Pauta LVPS” en honor a la fuente de poder del mismo nombre, donde las principales actividades son chequeos varios y limpieza de componentes eléctricos/electrónicos (gabinetes, tarjetas, conexiones, etc.) que producto del ambiente en interior mina (polvo de sílice) producen alteración al correcto funcionamiento y en el peor de los casos cortocircuitos capaces de dejar fuera de servicio a la locomotora.

#### 4.1. Sistemas en SAP de locomotoras “NREC – 2GS-16B”

Ambas locomotoras están ingresadas en el sistema SAP, donde se identifican con la ubicación técnica “TNL1” Y “TNL2”. Cada una posee 10 ubicaciones técnicas que corresponden a los sistemas principales y algunos sistemas principales poseen subsistemas. La figura 9 resume las ubicaciones técnicas correspondientes a la locomotora “NREC – 2GS-16B” #661 (TNL1)<sup>10</sup>.

TMIN-PRO-FT8-LOC-L08		LOCOMOTORAS National Railway Equip. Comp.
▼	TNL1	LOCO# 661 DIESEL ELÉCTRICA NREC 130 Ton.
▼	TNL1-ATP	Sistema ATP, LOCO # 661 NREC 130 Ton.
▼	TNL1-SCC	Sistema Control y Comando, LOCO # 661 NR
▼	TNL1-SCC-ATO	Sistema ATP / ATO , LOCO # 661 NREC130
▼	TNL1-SCO	Sist.Compresión, LOCO # 661 NREC 130 Ton
▼	TNL1-SEL	Sist.Eléctrico, LOCO # 661 NREC 130 Ton
▼	TNL1-SEL-SCC	Sist.Comando Control , LOCO # 661 NREC 1
▼	TNL1-SES	Sist.Estructural , LOCO # 661 NREC 130 T
▼	TNL1-SES-SEN	Sist.Enganche, LOCO # 661 NREC 130 Ton
▼	TNL1-SFR	Sist.de Frenos, LOCO # 661 NREC 130 Ton
▼	TNL1-SPO	Sist.de Potencia, LOCO # 661 NREC 130 To
▼	TNL1-SPO-GEA	Sist.Generadores, LOCO # 661 NREC 130 To
▼	TNL1-SPO-MOT	Sist.Motores, LOCO # 661 NREC 130 Ton
▼	TNL1-SPO-MTR	Sist.Motores Tracción, LOCO # 661 NREC 1
▼	TNL1-SRA	Sist.de Radio, LOCO # 661 NREC 130 Ton
▼	TNL1-SRE	Sist.de Refrigeración, LOCO # 661 NREC 1
▼	TNL1-SRO	Sist.de Rodado, LOCO # 661 NREC 130 Ton
▼	TNL1-SRO-BCO	Bogue Lado Colón , LOCO # 661 NREC 130 T
▼	TNL1-SRO-BMI	Bogue Lado Mina, LOCO # 661 NREC 130 Ton

Fig. 9 Ubicaciones Técnicas en SAP de Locomotoras “NREC – 2GS-16B”.

Se destaca esta información ya que cada falla y mantenimiento realizado debe ir asociado al sistema que pertenece. De esta manera es posible conocer los sistemas más propensos a fallar, repuestos críticos, disponibilidad a nivel de sistemas, entre otras herramientas que actualmente están a disposición, pero no se utilizan.

<sup>10</sup> La locomotora “NREC – 2GS-16B” #662 designada en SAP como TNL2, posee exactamente la misma estructura de sistemas y subsistemas como ubicaciones técnicas, por lo que no se incluye una figura en particular dedicada a esta.

La tabla N°6 resume los sistemas y ubicaciones técnicas creados en SAP para las locomotoras 661 y 662.

<b>Locomotora #661 (TNL1)</b>		<b>Locomotora #662 (TNL2)</b>	
<b>Sistema</b>	<b>Ubicación Técnica</b>	<b>Sistema</b>	<b>Ubicación Técnica</b>
ATP	TNL1-ATP	ATP	TNL2-ATP
Control y Comando	TNL1-SCC	Control y Comando	TNL2-SCC
Compresión	TNL1-SCO	Compresión	TNL2-SCO
Eléctrico	TNL1-SEL	Eléctrico	TNL2-SEL
Estructural	TNL1-SES	Estructural	TNL2-SES
Frenos	TNL1-SFR	Frenos	TNL2-SFR
Potencia	TNL1-SPO	Potencia	TNL2-SPO
Radio	TNL1-SRA	Radio	TNL2-SRA
Refrigeración	TNL1-SER	Refrigeración	TNL2-SRE
Rodado	TNL1-SRO	Rodado	TNL2-SRO

*Tabla 6 Sistemas y ubicaciones técnicas creadas en el software SAP para locomotoras “NREC – 2GS-16B” #661 y #662.*

## **CAPÍTULO V: “MEJORAMIENTO Y OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE PAUTAS DE MANTENIMIENTO”**

En este capítulo se identifican los sistemas críticos y se llevará a cabo un análisis de modos de fallos, efectos y criticidad, AMFEC, con el objetivo de ser capaces de mejorar y optimizar las actividades contempladas en las pautas de mantenimiento de las locomotoras “NREC – 2GS16-B”<sup>11</sup>.

### **5.1. Diagramas de Pareto**

Se obtiene el listado de avisos ingresados al sistema SAP, en un período de tiempo desde enero de 2009 a junio de 2014<sup>12</sup>, para ambas locomotoras, información que se ordena para observar cuales son los sistemas críticos a través de diagramas de Pareto, que considera la regla 80-20 para en este caso asociar el 80% de las fallas al 20% de sistemas críticos tomando en cuenta tres factores: frecuencia, duración y costo asociado a cada falla.

#### **5.1.1. Identificación de sistemas críticos de locomotora #661**

Se identificarán los sistemas críticos de la locomotora 661 a través de diagramas de Pareto considerando los tres factores mencionados anteriormente.

---

<sup>11</sup> La identificación de sistemas críticos de otros equipos de servicio y apoyo a la producción se encuentran en el Anexo V.

<sup>12</sup> Dichos listados de avisos obtenidos desde el sistema SAP se encuentran en los Anexos I y II.

### 5.1.1.1. Sistemas críticos por frecuencia de fallas:

La tabla N°7 muestra los sistemas que han presentado fallas a lo largo de todo el uso de la locomotora 661, se ordenan de acuerdo a la frecuencia de falla, identificando el porcentaje acumulado y frecuencia acumulada.

Sistema	Frecuencia	% Acumulado	Frecuencia Acumulada
SEL	16	43,2%	16
SPO	8	64,9%	24
SCC	4	75,7%	28
ATP	3	83,8%	31
SFR	3	91,9%	34
SCO	1	94,6%	35
SES	1	97,3%	36
SRO	1	100,0%	37

37

*Tabla 7 Sistemas críticos por frecuencia de fallas de locomotora “NREC – 2GS-16B” #661.*

Se observa que de acuerdo a la frecuencia de fallas, aproximadamente el 80% de las fallas están comprendidas por los sistemas “Eléctrico”, “Potencia” y “Control y Comando”.

La figura 10 es un diagrama de Pareto de frecuencia de fallas. Resume la información de la tabla N°7, ubicando cada sistema en el eje de abscisas, frecuencia acumulada en el eje de ordenadas del lado izquierdo y porcentaje acumulado en el eje de ordenadas del lado derecho.

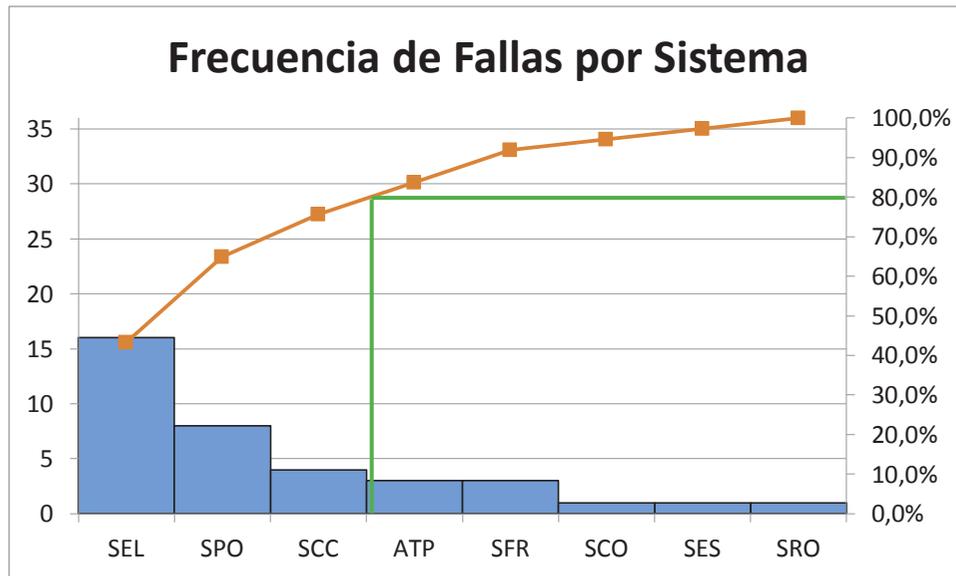


Fig. 10 Diagrama de Pareto: Frecuencia de fallas por sistema de locomotora “NREC – 2GS-16B” #661.

### 5.1.1.2. Sistemas críticos por duración de fallas:

La tabla N°8 muestra los sistemas que han presentado fallas a lo largo de todo el uso de la locomotora 661, se ordenan de acuerdo a la duración de fallas, identificando el porcentaje acumulado y duración acumulada.

Sistema	Duración [h]	% Acumulado	Duración Acumulada [h]
<b>SCO</b>	<b>2214,50</b>	<b>76,7%</b>	<b>2214,50</b>
SEL	487,25	93,6%	2701,75
SCC	82,50	96,5%	2784,25
SPO	40,63	97,9%	2824,88
ATP	25,00	98,7%	2849,88
SRO	24,00	99,6%	2873,88
SFR	10,25	99,9%	2884,13
SES	2,00	100,0%	2886,13

**2886,13**

Tabla 8 Sistemas críticos por duración de fallas de locomotora “NREC – 2GS-16B” #661.

Se observa que de acuerdo a la duración de fallas, aproximadamente el 80% de las fallas están comprendidas por el sistema “Compresión”.

La figura 11 es un diagrama de Pareto de duración de fallas. Resume la información de la tabla N°8, ubicando cada sistema en el eje de abscisas, duración acumulada en el eje de ordenadas del lado izquierdo y porcentaje acumulado en el eje de ordenadas del lado derecho.

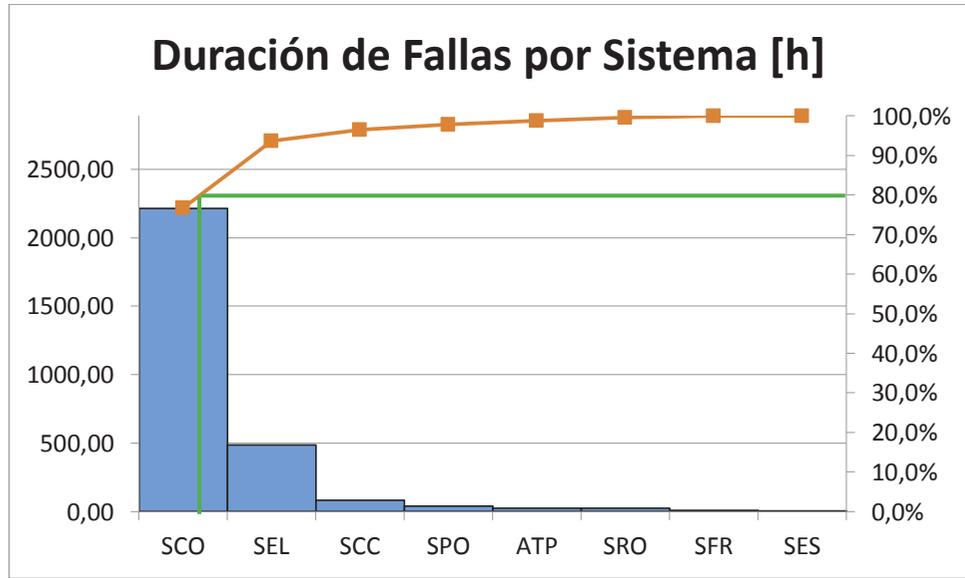


Fig. 11 Diagrama de Pareto: Duración de fallas por sistema de locomotora “NREC – 2GS-16B” #661.

### 5.1.1.3. Sistemas críticos por costo de fallas:

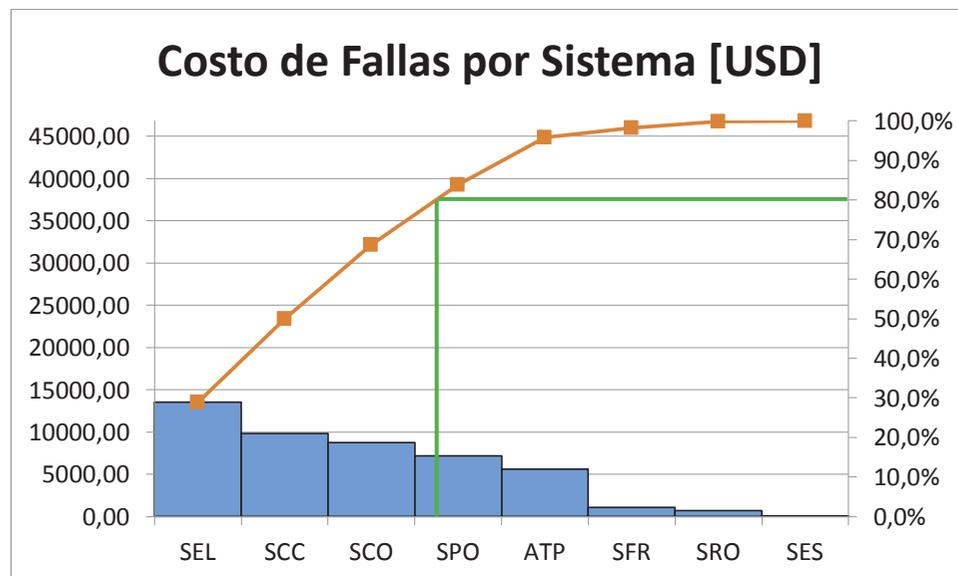
La tabla N°9 muestra los sistemas que han presentado fallas a lo largo de todo el uso de la locomotora 661, se ordenan de acuerdo a los costos de fallas, identificando el porcentaje acumulado y costo acumulado.

Sistema	Costo [USD]	% Acumulado	Costo Acumulado [USD]
<b>SEL</b>	13539,14	28,9%	13539,14
<b>SCC</b>	9845,16	50,0%	23384,30
<b>SCO</b>	8746,81	68,6%	32131,11
<b>SPO</b>	7158,87	83,9%	39289,98
<b>ATP</b>	5593,59	95,9%	44883,57
<b>SFR</b>	1114,07	98,3%	45997,64
<b>SRO</b>	725,60	99,8%	46723,24
<b>SES</b>	89,56	100,0%	46812,80
	<b>46812,80</b>		

*Tabla 9 Sistemas críticos por costo de fallas de locomotora “NREC – 2GS-16B” #661.*

Se observa que de acuerdo a los costos de fallas, aproximadamente el 80% de las fallas están comprendidas por los sistemas “Eléctrico”, “Control y Comando” y “Compresión”.

La figura 12 es un diagrama de Pareto de costos de fallas. Resume la información de la tabla N°9, ubicando cada sistema en el eje de abscisas, costo acumulado en el eje de ordenadas del lado izquierdo y porcentaje acumulado en el eje de ordenadas del lado derecho.



*Fig. 12 Diagrama de Pareto: Costo de fallas por sistema de locomotora “NREC – 2GS-16B” #661.*

#### 5.1.1.4. Resumen de sistemas críticos locomotora #661:

La tabla N°10 relaciona los tres factores en estudio, identificando finalmente como sistemas críticos de la locomotora #661 a los sistemas “Eléctrico”, “Compresión”, “Control y Comando” y “Potencia”. En los cuales se deberá trabajar fuertemente en dirección a disminuir las tasa de fallas, duración y costo.

Sistema	Frecuencia (F1)	Duración (F2)	Costo (F3)	(F1)*(F2)*(F3)
SEL	15	487,25	13539,14	98954189,48
SCO	1	2214,50	8746,81	19369810,75
SCC	4	82,50	9845,16	3248902,80
SPO	8	40,63	7158,87	2326919,10
ATP	3	25,00	5593,59	419519,25
SFR	3	10,25	1114,07	34257,65
SRO	1	24,00	725,60	17414,40
SES	1	2,00	89,56	179,12

*Tabla 10 Sistemas críticos por frecuencia, duración y costo de fallas de locomotora “NREC – 2GS-16B” #661.*

### 5.1.2. Identificación de sistemas críticos de locomotora #662

Se identificarán los sistemas críticos de la locomotora 662 a través de diagramas de Pareto considerando los tres factores mencionados anteriormente.

#### 5.1.2.1. Sistemas críticos por frecuencia de fallas:

La tabla N°11 muestra los sistemas que han presentado fallas a lo largo de todo el uso de la locomotora 662, se ordenan de acuerdo a la frecuencia de falla, identificando el porcentaje acumulado y frecuencia acumulada.

Sistema	Frecuencia	% Acumulado	Frecuencia Acumulada
SEL	19	39,6%	19
SPO	12	64,6%	31
ATP	6	77,1%	37
SCC	4	85,4%	41
SFR	3	91,7%	44
SRO	2	95,8%	46
SFR	1	97,9%	47
SRE	1	100,0%	48

48

*Tabla 11 Sistemas críticos por frecuencia de fallas de locomotora “NREC – 2GS-16B” #662.*

Se observa que de acuerdo a la frecuencia de fallas, aproximadamente el 80% de las fallas están comprendidas por los sistemas “Eléctrico”, “Potencia” y “ATP”.

La figura 13 es un diagrama de Pareto de frecuencia de fallas. Resume la información de la tabla N°11, ubicando cada sistema en el eje de abscisas, frecuencia acumulada en el eje

de ordenadas del lado izquierdo y porcentaje acumulado en el eje de ordenadas del lado derecho.

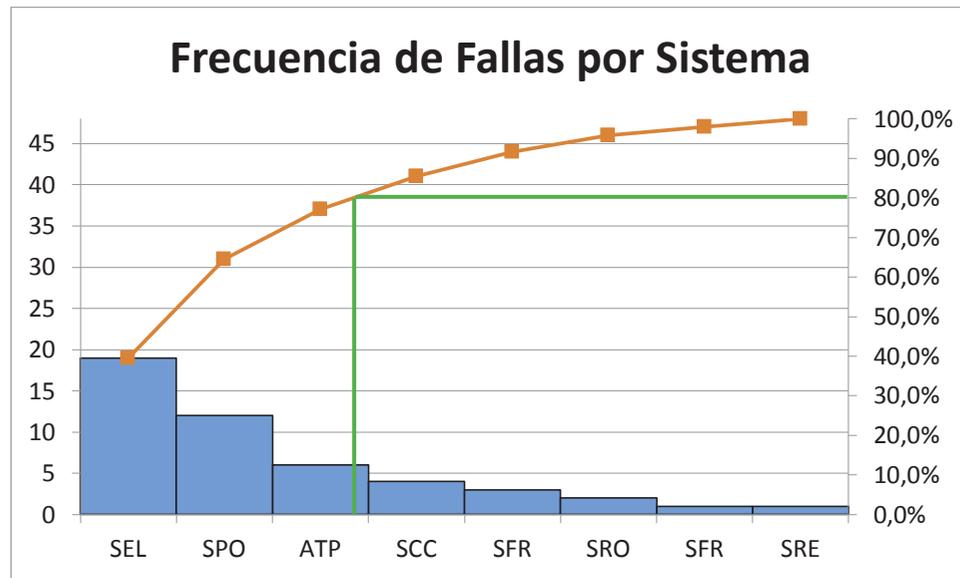


Fig. 13 Diagrama de Pareto: Frecuencia de fallas por sistema de locomotora “NREC – 2GS-16B” #662.

### 5.1.2.2. Sistemas críticos por duración de fallas:

La tabla N°12 muestra los sistemas que han presentado fallas a lo largo de todo el uso de la locomotora 662, se ordenan de acuerdo a la duración de fallas, identificando el porcentaje acumulado y duración acumulada.

Sistema	Duración [h]	% Acumulado	Duración Acumulada [h]
<b>ATP</b>	1341,25	70,5%	1341,25
SEL	426,15	92,8%	1767,40
SPO	72,71	96,7%	1840,11
SRO	46,50	99,1%	1886,61
SCC	10,00	99,6%	1896,61
SFR	4,00	99,8%	1900,61
SFR	2,00	99,9%	1902,61
SRE	1,00	100,0%	1903,61
			<b>1903,61</b>

*Tabla 12 Sistemas críticos por duración de fallas de locomotora “NREC – 2GS-16B” #662.*

Se observa que de acuerdo a la duración de fallas, aproximadamente el 80% de las fallas están comprendidas por el sistema “ATP”.

La figura 14 es un diagrama de Pareto de duración de fallas. Resume la información de la tabla N°12, ubicando cada sistema en el eje de abscisas, duración acumulada en el eje de ordenadas del lado izquierdo y porcentaje acumulado en el eje de ordenadas del lado derecho.

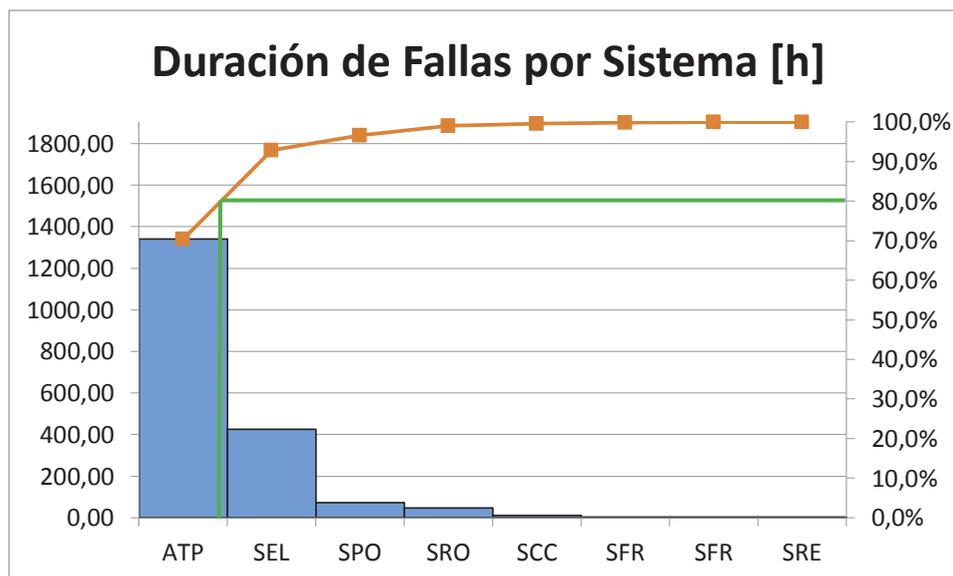


Fig. 14 Diagrama de Pareto: Duración de fallas por sistema de locomotora "NREC - 2GS-16B" #662.

### 5.1.2.3. Sistemas críticos por costo de fallas:

La tabla N°13 muestra los sistemas que han presentado fallas a lo largo de todo el uso de la locomotora 662, se ordenan de acuerdo a los costos de fallas, identificando el porcentaje acumulado y costo acumulado.

Sistema	Costo [USD]	% Acumulado	Costo Acumulado [USD]
<b>ATP</b>	<b>36292,63</b>	<b>52,6%</b>	<b>36292,63</b>
<b>SEL</b>	<b>13652,27</b>	<b>72,4%</b>	<b>49944,90</b>
SCC	9206,64	85,7%	59151,54
SPO	5620,94	93,9%	64772,48
SRO	2993,10	98,2%	67765,58
SFR	525,31	99,0%	68290,89
SRE	426,48	99,6%	68717,37
SFR	272,10	100,0%	68989,47
	<b>68989,47</b>		

Tabla 13 Sistemas críticos por costo de fallas de locomotora "NREC - 2GS-16B" #662.

Se observa que de acuerdo a los costos de fallas, aproximadamente el 80% de las fallas están comprendidas por los sistemas “ATP” y “Eléctrico”.

La figura 15 es un diagrama de Pareto de costos de fallas. Resume la información de la tabla N°13, ubicando cada sistema en el eje de abscisas, costo acumulado en el eje de ordenadas del lado izquierdo y porcentaje acumulado en el eje de ordenadas del lado derecho.

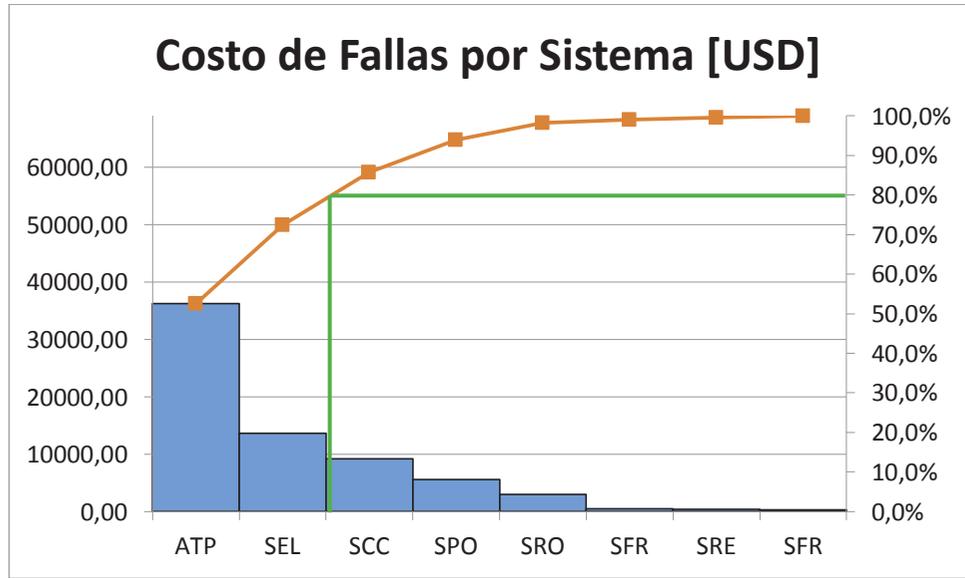


Fig. 15 Diagrama de Pareto: Costo de fallas por sistema de locomotora “NREC – 2GS-16B” #662.

#### 5.1.2.4. Resumen de sistemas críticos locomotora #662:

La tabla N°14 relaciona los tres factores en estudio, identificando finalmente como sistemas críticos de la locomotora #662 a los sistemas “ATP”, “Eléctrico” y “Potencia”. En los cuales se deberá trabajar fuertemente en dirección a disminuir las tasa de fallas, duración y costo.

Sistema	Frecuencia (F1)	Duración (F2)	Costo (F3)	(F1)*(F2)*(F3)
<b>ATP</b>	6	1341,25	36292,63	292064939,93
<b>SEL</b>	19	426,15	13652,27	110540478,79
<b>SPO</b>	12	72,71	5620,94	4904384,75
<b>SCC</b>	4	10,00	9206,64	368265,60
<b>SRO</b>	2	46,50	2993,10	278358,30
<b>SFR</b>	3	4,00	525,31	6303,72
<b>SFR</b>	1	2,00	272,10	544,20
<b>SRE</b>	1	1,00	426,48	426,48

*Tabla 14 Sistemas críticos por frecuencia, duración y costo de fallas de locomotora “NREC – 2GS-16B” #662.*

Desde una mirada general se observa que los sistemas que abarcan la mayor tasa de fallas, se repiten en ambas locomotoras, variando sólo el orden de criticidad. Se deben realizar cambios y mejoras a las pautas de mantenimiento ya que si alguna tarea de mantenimiento se está haciendo mal o no se realiza, afectará los sistemas identificados, como hasta ahora los números lo indican.

## 5.2. Análisis de modos de fallos, efectos y criticidad, AMFEC

Una vez identificados los sistemas críticos de ambas locomotoras, se lleva a cabo la realización de una hoja AMFEC, donde se trabaja directamente con las fallas que causan indisponibilidades en los equipos para al final del proceso proponer estrategias.

Para realizar este análisis se obtuvo el historial de fallas y se trabajó en cada aviso describiendo según corresponde función/proceso, sistema, parámetro, fallo funcional, modos de fallos, efectos de fallos, consecuencias de fallo y valoración de riesgo completando cada campo de la hoja AMFEC hasta obtener el número de ponderación de riesgo, tarea que se realizó en conjunto con mantenedores eléctricos y mecánicos del área y el jefe de mantenimiento. La tabla N°15 define los rangos de NPR que se aplicaron a las locomotoras “NREC – 2GS-16B” #661 y #662.

<b>Rango</b>	<b>NPR</b>
Poco importante	< 100
Normal	100 < NPR < 200
Crítico	< 200

*Tabla 15 Definición de rangos de NPR aplicados a las locomotoras “NREC -2GS-16B” #661 y #662.*

Una vez definido el NPR para cada fallo, se realiza una hoja AMFEC de resultados en la cual se proponen estrategias que atacan directamente los fallos. En este caso va orientado a la inclusión de ciertas labores en las pautas de mantenimiento, como también la modificación de ciertas frecuencias con que se inspeccionan y/o reemplazan elementos críticos.

Las tablas N°16 y N°17 corresponden al AMFEC de valoración de fallos<sup>13</sup> y las tablas N°18 y N°19 corresponden al AMFEC de prevención de fallos<sup>14</sup>, de las locomotoras 661 y 662 respectivamente.

---

<sup>13</sup> Se muestra sólo una página de la tabla, la continuación se encuentra en el Anexo VI.

<sup>14</sup> Se muestra sólo una página de la tabla, la continuación se encuentra en el Anexo VI.

<b>AMFEC</b>		Centro Industrial: Codeco - El Teniente Sección/Planta/Código: GMIN – SMM Instalación/Activo: Unidad FFCC Tte. 8 – M1	Subsistema: Código:	N° Proyecto-Ingeniería: Proyecto de Titulación Elaborado por: Luis Antonio San Martín Mejías Revisado por: Autorizado por:	Fecha elaboración Versión: 1.0 HOJA 1 de 2										
Activo: Locomotora #661 (NREC 2GS-16B)		Código: TNL1													
BREVE DESCRIPCIÓN DE LA FUNCIÓN/PROCESO DONDE INTERVIENE EL ACTIVO EN EL CONTEXTO OPERATIVO: Locomotoras de servicio y apoyo a la producción, FFCC Teniente 8. Nivel de transporte principal mina El Teniente.															
FUNCIÓN/PROCESO	PARÁMETRO	FALLOS FUNCIONALES	MODOS DE FALLO			EFECTOS DE FALLOS	CONSECUENCIAS DE FALLO					VALORACIÓN DE RIESGO			
			CLASIFICACIÓN A	CLASIFICACIÓN B	CLASIFICACIÓN C		FALLO OCULTO	SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE	PRODUCCIÓN	MANTENIMIENTO	CALIDAD	GRAVEDAD	FRECUENCIA DE FALLOS	DETECTABILIDAD	N.P.R.
<b>SISTEMA ATP</b>															
Baterías ATP	2 baterías de 12V en serie (24V)	Sistema ATP sin alimentación baterías no acumulan carga	Término de vida útil			Falla general del sistema ATP	NO	SI	NO	SI	NO	6	7	4	168
Módem ATP	24V	Sistema de comunicación sin recepción	Quemado	Cortocircuito	Conexiones sucias	Sin comunicación radial con despacho de trenes	NO	SI	NO	SI	NO	4	7	4	112
Tarjeta T-44 Bombardier	Entrada 24V; Salida 13-19V	Pérdida de voltaje BUS SIOX	Quemado	Cortocircuito	Conexiones sucias	Pérdida de funcionamiento de MMI (Pantalla ATP)	NO	SI	NO	SI	NO	7	7	4	196
<b>SISTEMA CONTROL Y COMANDO</b>															
Panel NFORCE	24V	Pantalla indicadora no funciona	Quemado	Cortocircuito	Conexiones sucias	Pérdida de indicadores de locomotora, no se puede realizar prueba de carga ni test de sistemas	NO	SI	NO	SI	NO	6	7	4	168

**Tabla 16 Hoja AMFEC para valoración de fallos de locomotora “NREC – 2GS-16B” #661.**

AMFEC		Centro Industrial: Codeco - El Teniente Sección/Planta/Código: GMIN – SMM Instalación/Activo: Unidad FFCC Tte. 8 – M1		Subsistema: Código:		N° Proyecto-Ingeniería: Proyecto de Titulación Elaborado por: Luis Antonio San Martín Mejías Revisado por: Autorizado por:			Fecha elaboración Versión: 1.0 HOJA 2 de 2						
Activo: Locomotora #662 (NREC 2GS-16B)		Código: TNL2													
BREVE DESCRIPCIÓN DE LA FUNCIÓN/PROCESO DONDE INTERVIENE EL ACTIVO EN EL CONTEXTO OPERATIVO: Locomotoras de servicio y apoyo a la producción, FFCC Teniente 8. Nivel de transporte principal mina El Teniente.															
FUNCIÓN/PROCESO	PARÁMETRO	FALLOS FUNCIONALES	MODOS DE FALLO			EFECTOS DE FALLOS	CONSECUENCIAS DE FALLO					VALORACIÓN DE RIESGO			
			CLASIFICACIÓN A	CLASIFICACIÓN B	CLASIFICACIÓN C		FALLO OCULTO	SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE	PRODUCCIÓN	MANTENIMIENTO	CALIDAD	GRAVEDAD	FRECUENCIA DE FALLOS	DETECTABILIDAD	N.P.R.
<b>SISTEMA ATP</b>															
Antena de comunicación		Sistema de comunicación sin recepción	Golpe	Ambiente interior mina		Sin comunicación radial con despacho de trenes	SI	SI	NO	NO	NO	5	9	5	225
Baliza	24V	Al ingresar a estación/zona de registro no realiza prueba de frenos	Término de vida útil	Ambiente interior mina		Locomotora no se registra en sistema ATP	SI	SI	NO	SI	NO	7	7	5	245
			Quemado	Cortocircuito	Conexiones sucias										
Convertor	64V continuo a 220V alterno	220v alterna ausente en la salida	Quemado	Cortocircuito	Conexiones sucias	Pérdida de voltaje 220v en locomotora (Sin aire acondicionado, etc.)	NO	NO	NO	SI	NO	2	7	4	56
Módulo	24V	Sistema ATP no funciona	Aislamiento	Conexiones sucias		Falla generalizada en sistema ATP	SI	SI	NO	SI	NO	4	7	5	140
Tarjeta T-44 Bombardier	Entrada 24V; Salida 13-19V	Pérdida de voltaje BUS SIOX	Quemado	Cortocircuito	Conexiones sucias	Pérdida de funcionamiento de MMI (Pantalla ATP)	NO	SI	NO	SI	NO	7	7	4	196

Tabla 17 Hoja AMFEC para valoración de fallos de locomotora "NREC – 2GS-16B" #662.

FUNCIÓN/PROCESO		PARÁMETRO	FALLOS FUNCIONALES	MODOS DE FALLO			EFECTOS DE FALLOS	VALORACIÓN DE RIESGO				ESTRATEGIAS PROPUESTAS
				CLASIFICACIÓN A	CLASIFICACIÓN B	CLASIFICACIÓN C		GRAVEDAD	FRECUENCIA DE FALLOS	DETECTABILIDAD	N.P.R.	
<b>AMFEC</b> Centro Industrial: Codelco - El Teniente Sección/Planta/Código: GMIN – SMM Instalación/Activo: Unidad FFCC Tte. 8 – M1 Subistema: Código: N° Proyecto-Ingeniería: Proyecto de Titulación Elaborado por: Luis Antonio San Martín Mejías Revisado por: Autorizado por: Fecha elaboración: Versión: 1.0 HOJA 1 de 2												
Activo: Locomotora #661 (NREC 2GS-16B) Código: TNL1 BREVE DESCRIPCIÓN DE LA FUNCIÓN/PROCESO DONDE INTERVIENE EL ACTIVO EN EL CONTEXTO OPERATIVO: Locomotoras de servicio y apoyo a la producción, FFCC Teniente 8. Nivel de transporte principal mina El Teniente.												
<b>SISTEMA ATP</b>												
Baterías ATP	2 baterías de 12V en serie (24V)	Sistema ATP sin alimentación baterías no acumulan carga	Término de vida útil				Falla general del sistema ATP	6	7	4	168	Revisar estado de conexiones de baterías cada 100 hrs. Cambiar si es necesario cada 1600 hrs.
Módem ATP	24V	Sistema de comunicación sin recepción	Quemado	Cortocircuito	Conexiones sucias		Sin comunicación radial con despacho de trenes	4	7	4	112	Revisar estado de conexiones, soplado de gabinete y prueba de comunicación cada 100 hrs.
Tarjeta T-44 Bombardier	Entrada 24V; Salida 13-19V	Pérdida de voltaje BUS SIOX	Quemado	Cortocircuito	Conexiones sucias		Pérdida de funcionamiento de MMI (Pantalla ATP)	7	7	4	196	
<b>SISTEMA CONTROL Y COMANDO</b>												
Panel NFORCE	24V	Pantalla indicadora no funciona	Quemado	Cortocircuito	Conexiones sucias		Pérdida de indicadores de locomotora, no se puede realizar prueba de carga ni test de sistemas	6	7	4	168	Realizar prueba de autocarga a ambos gen set y verificar valores de potencia cada 3200 hrs.

Tabla 18 Hoja AMFEC para prevención de fallos de locomotora “NREC – 2GS-16B” #661.

AMFEC		Centro Industrial: Codelco - El Teniente Sección/Planta/Código: GMIN – SMM Instalación/Activo: Unidad FFCC Tte. 8 – M1		Subsistema: Código:		N° Proyecto-Ingeniería: Proyecto de Titulación Elaborado por: Luis Antonio San Martín Mejías Revisado por: Autorizado por:			Fecha elaboración Versión: 1.0 HOJA 2 de 2		
Activo: Locomotora #662 (NREC 2GS-16B)		Código: TNL2		BREVE DESCRIPCIÓN DE LA FUNCIÓN/PROCESO DONDE INTERVIENE EL ACTIVO EN EL CONTEXTO OPERATIVO: Locomotoras de servicio y apoyo a la producción, FFCC Teniente 8. Nivel de transporte principal mina El Teniente.							
FUNCIÓN/PROCESO	PARÁMETRO	FALLOS FUNCIONALES	MODOS DE FALLO			EFECTOS DE FALLOS	VALORACIÓN DE RIESGO				ESTRATEGIAS PROPUESTAS
			CLASIFICACIÓN A	CLASIFICACIÓN B	CLASIFICACIÓN C		GRAVEDAD	FRECUENCIA DE FALLOS	DETECTABILIDAD	N.P.R.	
<b>SISTEMA ATP</b>											
Antena de comunicación		Sistema de comunicación sin recepción	Golpe	Ambiente interior mina		Sin comunicación radial con despacho de trenes	5	9	5	225	Revisar estado de conexiones, soplado de gabinete y prueba de comunicación cada 100 hrs.
			Término de vida útil								
Baliza	24V	Al ingresar a estación/zona de registro no realiza prueba de frenos	Golpe	Ambiente interior mina		Locomotora no se registra en sistema ATP	7	7	5	245	
			Quemado	Cortocircuito	Conexiones sucias						
Convertor	64V continuo a 220V alterno	220v alterna ausente en la salida	Quemado	Cortocircuito	Conexiones sucias	Pérdida de voltaje 220v en locomotora (Sin aire acondicionado, etc.)	2	7	4	56	
Módulo	24V	Sistema ATP no funciona	Aislamiento	Conexiones sucias		Falla generalizada en sistema ATP	4	7	5	140	
Tarjeta T-44 Bombardier	Entrada 24V; Salida 13-19V	Pérdida de voltaje BUS SIOX	Quemado	Cortocircuito	Conexiones sucias	Pérdida de funcionamiento de MMI (Pantalla ATP)	7	7	4	196	

**Tabla 19 Hoja AMFEC para prevención de fallos de locomotora “NREC – 2GS-16B” #662.**

### 5.2.1. Resumen de mejoramientos y optimizaciones

La tabla N° 20 muestra las fallas analizadas en los AMFEC de ambas locomotoras, comparando las actividades y frecuencias contenidas actualmente en las pautas, con las actividades y frecuencias propuestas.

Parte, Pieza, Elemento	ACTUAL	PROPUESTO
[SCO] Aceite y Filtro de Compresor	Revisar nivel de aceite, rellenar si fuera necesario 180 hrs. Cambio filtro de aceite y filtro separador de aceite 2880 hrs.	Revisar nivel de aceite y rellenar si es necesario cada 200 hrs. Cambiar filtro de aceite y filtro separador de aceite cada 1600 hrs.
[SEL] Fuente de Poder LVPS	-	Pauta LVPS, limpieza y soplado de fuente de poder y filtros cada 5 días
[SPO] Aceite y Filtro de Aceite Motor	180 hrs revisar/rellenar estanque reserva. 720 hrs cambio filtro, aceite y muestra	Toma de muestra, cambio de aceite y filtro cada 400 hrs. Verificar estanque de reserva cada 800 hrs.
[SPO] Mangueras de Escape	Revisar mensaje NFORCE (no existe) 180 hrs.	Revisión de mangueras de escape cada 200 hrs. cambiar si es necesario
[SEL] Baterías	720 hrs revisar terminales de conexión y verificar carga si es menor a 8v cambiar.	Cada 400 hrs. revisar terminales de conexión y verificar carga, si es menor a 8v cambiar.
[SPO] Empaquetadura de Escape	Revisar estado 1440 hrs.	Verificar estado si es necesario cambiar, cada 800 hrs.
[SCC] Tarjeta de Control	Verificar panel de instrumentos e interruptores 180 hrs.	Verificar funcionamiento de interruptores de control cada 200 hrs. Si detecta alguna anomalía reparar.
[SEL] Contactor de Compresor	-	Revisar, limpiar o cambiar si están muy escoriados cada 200 hrs.
[ATP] Batería ATP	Revisar estado cambio si es necesario 2880 hrs	Revisar estado de conexiones de baterías cada 100 hrs. Cambiar si es necesario cada 1600 hrs.
[ATP] Módulo ATP	-	Revisar estado de conexiones, soplado de gabinete y prueba de comunicación cada 100 hrs.
[ATP] Antena ATP	-	Revisar estado de conexiones, soplado de gabinete y prueba de comunicación cada 100 hrs.
[SCC] Relay, Transductores y Tarjetas Electrónicas	Verificar panel de instrumentos e interruptores 180 hrs.	Verificar funcionamiento de interruptores de control cada 200 hrs. Si detecta alguna anomalía reparar.
[SFR] Válvula despiche	-	Revisar válvulas, reemplazar si es necesario cada 400 horas.
[SCC] Panel NFORCE	11520 hrs. Prueba de autocarga a ambos genset y verificar valores (diferencias menores al 15% respecto a valor nominal implica revision sistemas diesel y eléctrico hasta normalizar el valor)	Realizar prueba de autocarga a ambos gen set y verificar valores de potencia según pautas cada 3200 hrs. Diferencias menores al 15% respecto a valor nominal implica revisión de sistemas diésel y eléctrico hasta normalizar el valor.
[SPO] Filtro de Aire	Revisar/cambiar 720 hrs	Revisión y cambio si es necesario, pauta LVPS cada 5 días. Cambiar cada 100 hrs.
[SPO] Catalizador	-	Revisión y cambio de filtro cada 200 hrs.
[ATP] Tarjeta T-44 Bombardier	-	Revisar estado de conexiones, soplado de gabinete y prueba de comunicación cada 100 hrs.

[SEL] Focos	Limpiar focos 180 hrs.	Revisar estado y funcionamiento cada 200 hrs.
[SPO] Mangueras de Escape	Revisar estado y cambiar mangueras lubricacion motor y mangueras estanque aceite 720 hrs.	Revisión de mangueras de escape cada 200 hrs. cambiar si es necesario.
[SFR] Zapatas	Largo salida vastago cilindro freno mayor a 4" regular o cambio zapata 180 hrs.	Revisión de estado pauta LVPS cada 5 días. Cada 200 hrs. revisar largo de vástago de cilindro de freno, si es mayor a 4" ajustar o cambiar zapata.
[ATP] Módem ATP	-	Revisar estado de conexiones, soplado de gabinete y prueba de comunicación cada 100 hrs.
[SRE] Anticongelante Motor	Revisar y/o rellenar 180 hrs.	Verificar nivel, rellenar cuando corresponda cada 800 hrs.
[ATP] Conversor ATP	-	Revisar estado de conexiones, soplado de gabinete y prueba de comunicación cada 100 hrs.
[SCC] Selector de Velocidad	Verificar panel de instrumentos e interruptores 180 hrs.	Verificar funcionamiento de interruptores de control cada 200 hrs. Si detecta alguna anomalía reparar.
[SCC] Selector de Freno de Aparcamiento	Verificar panel de instrumentos e interruptores 180 hrs.	Verificar funcionamiento de interruptores de control cada 200 hrs. Si detecta alguna anomalía reparar

***Tabla 20 Resumen de cambios propuestos en el contenido de pautas de mantenimiento locomotoras "NREC – 2GS-16B"***

## CAPÍTULO VI: “PROPUESTA DE PAUTA DE CONTROL DE GESTIÓN BASADA EN KPI Y SIMULACIÓN DE MONTECARLO”

La creación de una pauta de control de gestión basada en KPI requiere conocer los indicadores clave de desempeño que en la división El Teniente se obtienen a través del sistema SAP, al consultar por un equipo el software arroja el tiempo nominal, tiempo de paradas, tiempo disponible y la disponibilidad física (neta).

Las formulas son las siguientes:

$$t_{disponible} = t_{nominal} - t_{paradas}$$

$$disponibilidad_{neta} = \frac{t_{disponible}}{t_{nominal}} * 100 [\%]$$

La tabla N° 21 corresponde a los indicadores disponibles en SAP de la locomotora 661, se establecen las formulas anteriores en una plantilla Excel para obtener los resultados. Los sistemas en color rojo corresponden a los sistemas críticos identificados en el capítulo V.

INDICADORES DISPONIBLES EN SAP				
661	TIEMPO NOMINAL	TIEMPO PARADAS	TIEMPO DISPONIBLE	DISPONIBILIDAD FISICA (NETA)
TNL1-ATP	7968	4460,0	3508,0	44,03%
TNL1-SCC	7968	4419,0	3549,0	44,54%
TNL1-SCO	7968	4416,0	3552,0	44,58%
TNL1-SEL	7968	4441,0	3527,0	44,26%
TNL1-SES	7968	4416,0	3552,0	44,58%
TNL1-SFR	7968	4416,0	3552,0	44,58%
TNL1-SPO	7968	4420,0	3548,0	44,53%
TNL1-SRA	7968	4416,0	3552,0	44,58%
TNL1-SRE	7968	4416,0	3552,0	44,58%
TNL1-SRO	7968	4416,0	3552,0	44,58%
TNL1	7968	4682,5	3285,5	41,23%
<b>TOTAL</b>	<b>7968</b>	<b>4447,1</b>	<b>3520,9</b>	<b>44,19%</b>

Tabla 21 Indicadores disponibles en SAP de locomotora 661, enero de 2013 a mayo de 2014.

La tabla N°22 corresponde a los indicadores disponibles en SAP de la locomotora 662, se establecen las formulas anteriores en una plantilla Excel para obtener los resultados. Los sistemas en color rojo corresponden a los sistemas críticos identificados en el capítulo V.

INDICADORES DISPONIBLES EN SAP				
662	TIEMPO NOMINAL	TIEMPO PARADAS	TIEMPO DISPONIBLE	DISPONIBILIDAD FISICA (NETA)
TNL2-ATP	12384	1,25	12382,75	100,00%
TNL2-SCC	12384	5,00	12379,00	99,93%
TNL2-SCO	12384	2,00	12382,00	99,98%
TNL2-SEL	12384	0,50	12383,50	99,65%
TNL2-SES	12384	0,00	12384,00	99,88%
TNL2-SFR	12384	0,00	12384,00	99,92%
TNL2-SPO	12384	81,00	12303,00	99,77%
TNL2-SRA	12384	0,00	12384,00	100,00%
TNL2-SRE	12384	0,00	12384,00	100,00%
TNL2-SRO	12384	93,00	12291,00	99,51%
TNL2	12384	474,47	11909,53	27,85%
<b>TOTAL</b>	<b>12384</b>	<b>657,22</b>	<b>11726,78</b>	<b>94,69%</b>

Tabla 22 Indicadores disponibles en SAP de locomotora 662, enero de 2013 a mayo de 2014.

El propósito siguiente es la obtención de los indicadores MTTR y MTBF y con estos la disponibilidad. Las fórmulas son las siguientes:

$$MTTR = \frac{t_{paradas}}{n^{\circ} \text{ de paradas}} [h]$$

$$MTBF = \frac{t_{disponible}}{n^{\circ} \text{ de fallas}} [h]$$

$$Disponibilidad = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} * 100 [\%]$$

Se requiere obtener el n° de paradas y el n° de fallas. Por lo que se deberá consultar los avisos de mantenimiento preventivo y correctivo<sup>15</sup> de ambas locomotoras. La tabla N°23 muestra los valores obtenidos de n° de paradas y n° de fallas de locomotora 661.

<sup>15</sup> Avisos se adjuntan en Anexo II.

661	N° PARADAS	N° FALLAS
TNL1-ATP	1	1
TNL1-SCC	2	2
TNL1-SCO	0	0
TNL1-SEL	6	6
TNL1-SES	0	0
TNL1-SFR	1	1
TNL1-SPO	2	2
TNL1-SRA	0	0
TNL1-SRE	0	0
TNL1-SRO	1	1
TNL1	148	0
<b>TOTAL</b>	<b>161</b>	<b>13</b>

*Tabla 23 N° de paradas y n° de fallas de locomotora 661, enero de 2013 a mayo de 2014.*

La tabla N°24 muestra los valores obtenidos de n° de paradas y n° de fallas de locomotora 662.

662	N° PARADAS	N° FALLAS
TNL2-ATP	1	1
TNL2-SCC	2	2
TNL2-SCO	1	1
TNL2-SEL	1	1
TNL2-SES	0	0
TNL2-SFR	0	0
TNL2-SPO	3	3
TNL2-SRA	0	0
TNL2-SRE	0	0
TNL2-SRO	2	2
TNL2	151	0
<b>TOTAL</b>	<b>161</b>	<b>10</b>

*Tabla 24 N° de paradas y n° de fallas de locomotora 662, enero de 2013 a mayo de 2014.*

Ahora es posible calcular los indicadores MTTR Y MTBF para cada locomotora, y con estos obtener una disponibilidad basada en indicadores del mantenimiento efectuado, ya que cuando los equipos se consideran con tiempo de parada por motivos externos al mantenimiento (accidentes, orden superior, etc.) la disponibilidad basada exclusivamente en el tiempo se vé afectada y no representa fielmente el mantenimiento realizado.

Una vez obtenidos los indicadores, será posible evaluar la gestión que se está llevando a cabo y la toma de decisiones con el apoyo de simulación de Montecarlo, donde se plantean diversos escenarios a los sistemas críticos (distribución de variable aleatoria), que permitirán obtener como resultado un valor probabilístico de un indicador en estudio, con el objetivo de conocer cómo cambia su valor frente a diversas situaciones planteadas.

### 6.1. KPI de locomotora #661

La tabla N°25 muestra la obtención de los indicadores en estudio.

661	MTTR	MTBF	DISPONIBILIDAD
TNL1-ATP	4460,00	3508,00	44,03%
TNL1-SCC	2209,50	1774,50	44,54%
TNL1-SCO	0,00	0,00	0,00%
TNL1-SEL	740,17	587,83	44,26%
TNL1-SES	0,00	0,00	0,00%
TNL1-SFR	4416,00	3552,00	44,58%
TNL1-SPO	2210,00	1774,00	44,53%
TNL1-SRA	0,00	0,00	0,00%
TNL1-SRE	0,00	0,00	0,00%
TNL1-SRO	4416,00	3552,00	44,58%
TNL1	31,64	0,00	0,00%
<b>TOTAL</b>	<b>27,62</b>	<b>270,84</b>	<b>90,75%</b>

*Tabla 25 Obtención de indicadores de mantenimiento de locomotora 661, enero de 2013 a mayo de 2014.*

Se obtiene una disponibilidad de 90,75% lo cual es un indicador positivo cuando la exigencia es de 85% para todos los equipos de servicio y apoyo a la producción, una buena gestión se plantea mejorar aún más los indicadores. El tiempo medio para reparar equivale aproximadamente a 3,5 jornadas de trabajo y el tiempo medio entre fallas es aproximadamente 12 días.

La diferencia entre la disponibilidad original y la calculada se debe a que este equipo estuvo parado entre los meses julio y diciembre de 2013, por un accidente.

## 6.2. KPI de locomotora #662

La tabla N°26 muestra la obtención de los indicadores en estudio.

662	MTTR	MTBF	DISPONIBILIDAD
TNL2-ATP	1,25	12382,75	99,99%
TNL2-SCC	2,50	6189,50	99,96%
TNL2-SCO	2,00	12382,00	99,98%
TNL2-SEL	0,50	12383,50	100,00%
TNL2-SES	0,00	0,00	0,00%
TNL2-SFR	0,00	0,00	0,00%
TNL2-SPO	27,00	4101,00	99,35%
TNL2-SRA	0,00	0,00	0,00%
TNL2-SRE	0,00	0,00	0,00%
TNL2-SRO	46,50	6145,50	99,25%
TNL2	3,14	0,00	0,00%
<b>TOTAL</b>	<b>4,08</b>	<b>1172,68</b>	<b>99,65%</b>

*Tabla 26 Obtención de indicadores de mantenimiento de locomotora 662, enero de 2013 a mayo de 2014.*

Se obtiene una disponibilidad de 99,65% lo cual es un indicador de excelencia. El tiempo medio para reparar equivale aproximadamente a media jornada de trabajo y el tiempo medio entre fallas equivale aproximadamente a 48 días. La evaluación es positiva, un mantenimiento de calidad que se debe sostener en el tiempo.

### 6.3. Simulación de Montecarlo

Se lleva a cabo la simulación de Montecarlo a través de la herramienta Crystal Ball, donde se plantean diversos escenarios de distribución a las variables de entrada, correspondientes a los sistemas críticos de la locomotora 661 identificados en el capítulo V. Estas distribuciones están acotadas dentro de un rango que corresponde al mismo error relativo porcentual equivalente al -20%, -10%, 10% y 20% del valor original, con el objetivo de comparar, para un mismo valor aleatorio, qué variable de entrada tiene mayor influencia en el valor de salida, obteniendo resultados que permiten conocer de qué manera cambian o se ven afectados los indicadores clave del equipo en estudio, respaldando así la toma de decisiones.

La simulación se llevó a cabo considerando la locomotora 661, ya que realizarlo en ambas es ahondar en la misma herramienta de análisis sin acrecentar al cumplimiento de los objetivos. Para llevar a cabo las simulaciones, se asignó distribución normal a todas las variables aleatorias y para cada una se realizaron 100000 pruebas. Las variables de salida son “MTTR”, “MTBF” y “Disponibilidad”. La tabla N°27 contiene los valores iniciales de las variables de salida.

	Valor Inicial
MTTR	27,62 [hrs]
MTBF	270,84 [hrs]
Disponibilidad	90,75 %

*Tabla 27 Valores iniciales de las Variables de Salida de Locomotora 661*

### 6.3.1. Simulación Sistema Eléctrico

Las variables de entrada son “Tiempo de Paradas”, “Número de paradas”, “Tiempo Disponible” y “Número de fallas”. En la tabla N°28 se muestran los valores iniciales de las variables de entrada.

	Valor Inicial
Tiempo de Paradas	4441 [hrs]
Número de Paradas	6
Tiempo Disponible	3527 [hrs]
Número de Fallas	6

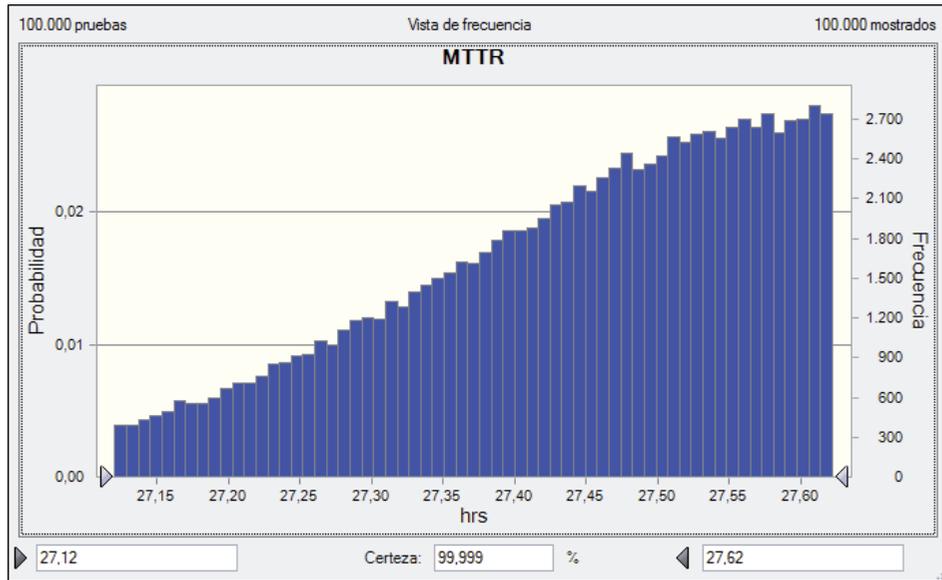
*Tabla 28 Valores iniciales de las Variables de Entrada del Sistema Eléctrico.*

La simulación asignará valores aleatorios a las variables de entrada. Para un estudio comparativo del efecto en las variables de salida, cada variable de entrada estará acotada a un mismo error relativo porcentual. La tabla N°29, resume los valores calculados para la variable de entrada “Tiempo de Paradas” de modo que el error relativo porcentual sea igual a -20%, -10%, 10% y 20%.

	Valor Inicial	-20%	-10%	10%	20%
Tiempo de Paradas	4441	3552,8	3996,9	4885,1	5329,2

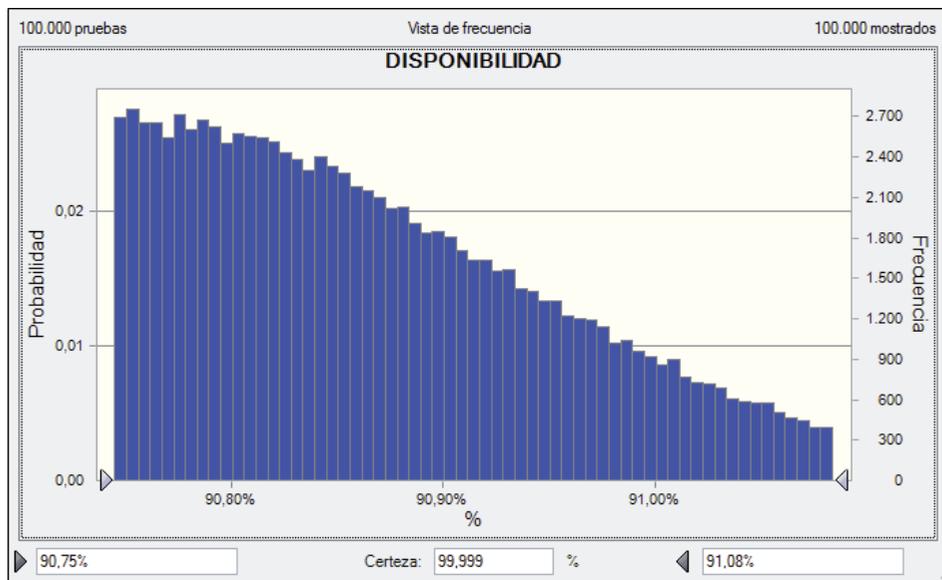
*Tabla 29 Cálculo del Tiempo de Paradas de acuerdo al Error Relativo Porcentual.*

Se ejecuta la simulación, la cual asigna valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo de Paradas”, en un rango que fluctúa desde el valor inicial hasta un valor 20% menor. Las figuras 16 y 17 corresponden a los resultados obtenidos en las variables de salida “MTTR” y “Disponibilidad”.



*Fig. 16 Resultados de la Variable de Salida “MTTR”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo de Paradas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 20% menor.*

Los resultados obtenidos indican que al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo de Paradas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 20% menor, el MTTR se verá modificado en el rango [27,12 - 27,62] hrs. Al mismo tiempo, la Disponibilidad se verá modificada en el rango [90,75 – 91,08] %.



*Fig. 17 Resultados de la Variable de Salida “Disponibilidad”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo de Paradas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 20% menor.*

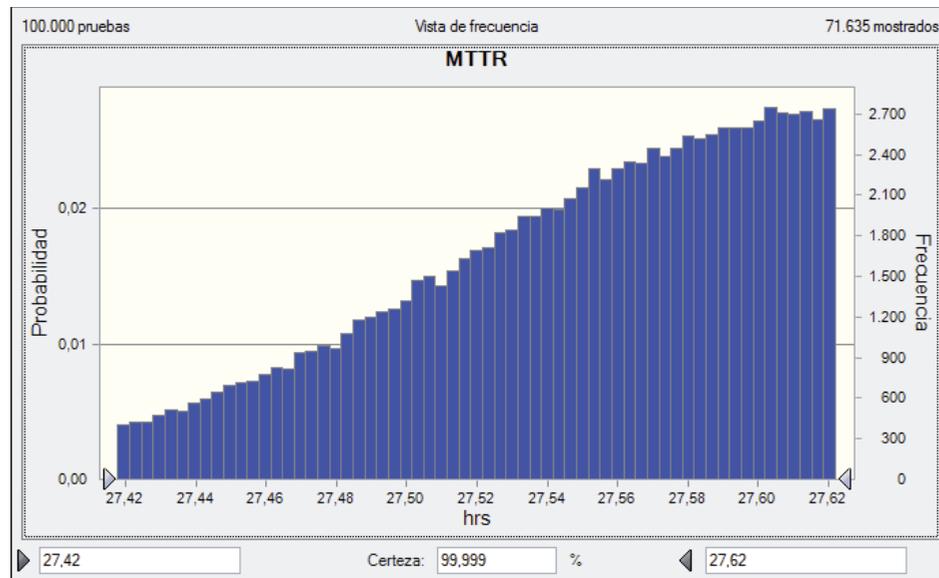
Se realiza la misma operación en la variable de entrada “Tiempo de Paradas”, para asignar valores aleatorios en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 10% menor, 10% mayor y 20% mayor. Estos resultados se adjuntan en el Anexo VII.

La tabla N°30, resume los valores calculados para la variable de entrada “Número de Paradas” de modo que el error relativo porcentual sea igual a -20%, -10%, 10% y 20%.

	Valor Inicial	-20%	-10%	10%	20%
Número de Paradas	6	4,8	5,4	6,6	7,2

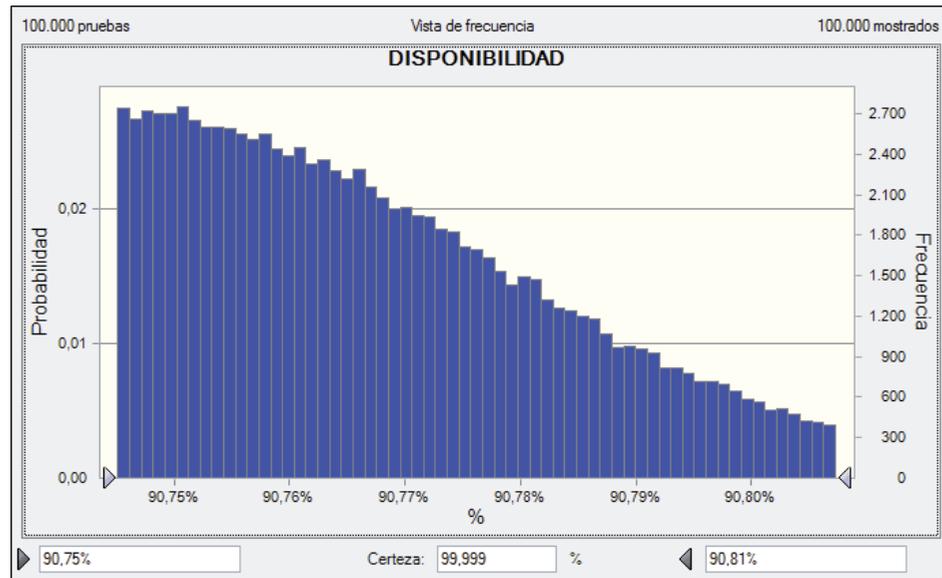
*Tabla 30 Cálculo del Número de Paradas de acuerdo al Error Relativo Porcentual.*

Se ejecuta la simulación, la cual asigna valores aleatorios a la variable de entrada “Número de Paradas”. Como las variables de entrada son inversamente proporcionales en la fórmula del MTTR, en este caso se trabaja en un rango que fluctúa desde el valor inicial hasta un valor 20% mayor. Las figuras 18 y 19 corresponden a los resultados obtenidos en las variables de salida “MTTR” y “Disponibilidad”.



*Fig. 18 Resultados de la Variable de Salida “MTTR”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Número de Paradas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 20% mayor.*

Los resultados obtenidos indican que al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Número de Paradas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 20% mayor, el MTTR se verá modificado en el rango [27,42 - 27,62] hrs. Al mismo tiempo, la Disponibilidad se verá modificada en el rango [90,75 – 90,81] %.

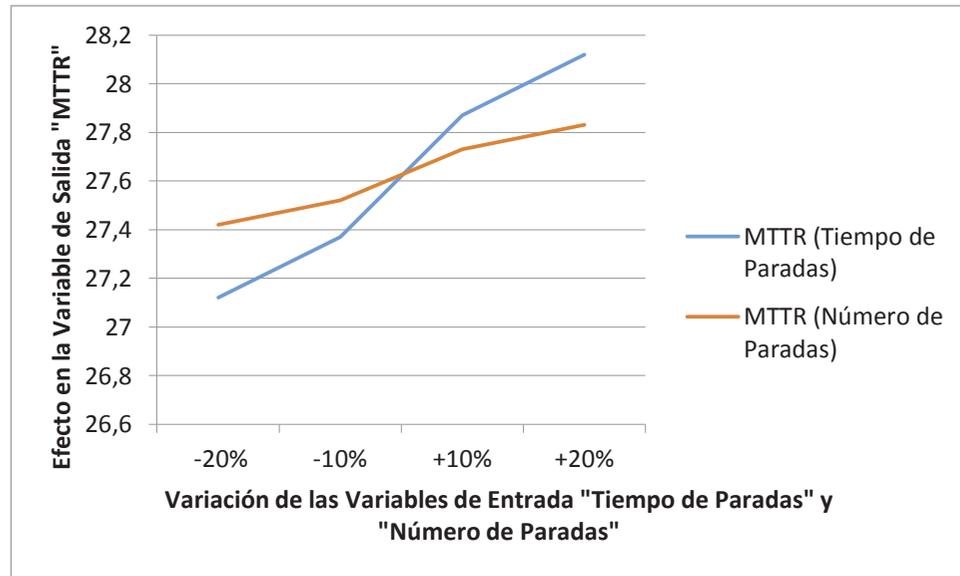


*Fig. 19 Resultados de la Variable de Salida “Disponibilidad”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Número de Paradas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 20% mayor.*

Se realiza la misma operación en la variable de entrada “Número de Paradas”, para asignar valores aleatorios en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 20% menor, 10% menor y 10% mayor. Estos resultados se adjuntan en el Anexo VII.

Al comparar la asignación de valores aleatorios, en un mismo error relativo porcentual, a las variables de entrada “Tiempo de Paradas” y “Número de Paradas”, la que más afecta el valor de la variable de salida “MTTR” es el “Tiempo de Paradas”. La figura 20 representa el efecto en la variable de salida “MTTR” al asignar valores aleatorios a las variables de entrada “Tiempo de Paradas” y “Número de Paradas”.

Se puede observar que la variable de salida “MTTR” obtenida de la asignación de valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo de Paradas”, tiene mayor pendiente y por ende un efecto mayor en el resultado final que la variable de salida “MTTR” obtenida de la asignación de valores aleatorios a la variable de entrada “Número de Paradas”.



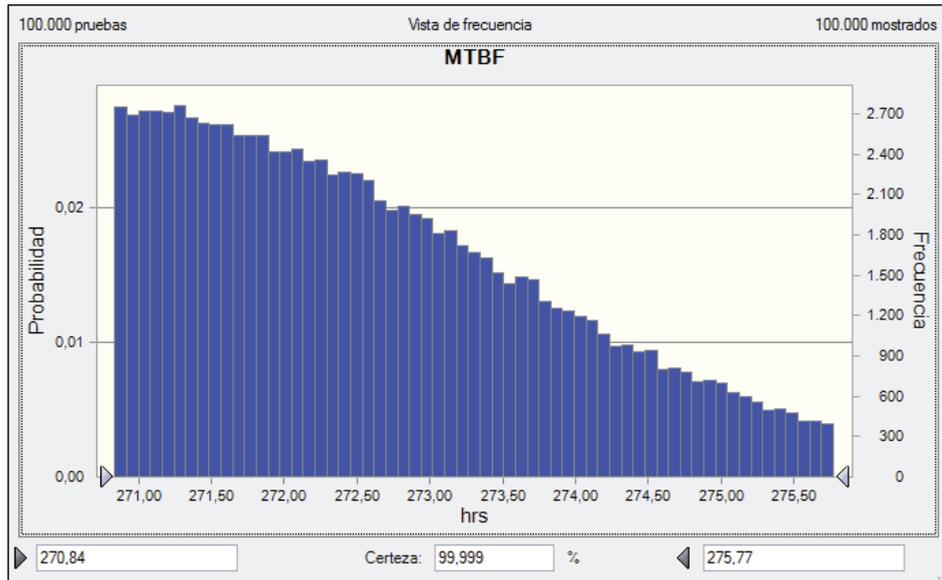
*Fig. 20 Variación de las variables de entrada “Tiempo de Paradas” y “Número de paradas” del Sistema Eléctrico y su efecto en la variable de salida “MTTR” de Locomotora 661.*

La tabla N°31, resume los valores calculados para la variable de entrada “Tiempo Disponible” de modo que el error relativo porcentual sea igual a -20%, -10%, 10% y 20%.

	Valor Inicial	-20%	-10%	10%	20%
Tiempo Disponible	3527	2821,6	3174,3	3879,7	4232,4

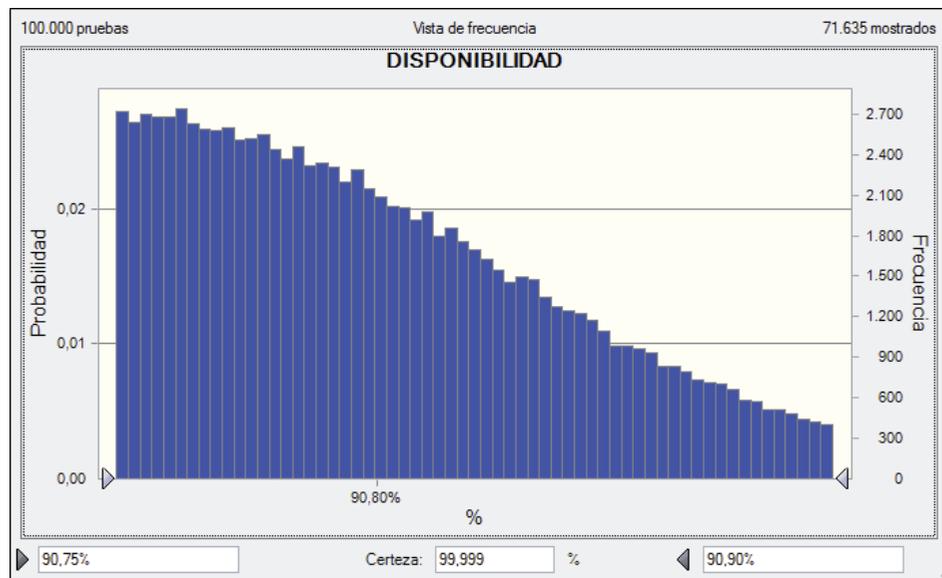
*Tabla 31 Cálculo del Tiempo Disponible de acuerdo al Error Relativo Porcentual.*

Se ejecuta la simulación, la cual asigna valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo Disponible”, en un rango que fluctúa desde el valor inicial hasta un valor 20% mayor. Las figuras 21 y 22 corresponden a los resultados obtenidos en las variables de salida “MTBF” y “Disponibilidad”.



**Fig. 21 Resultados de la Variable de Salida “MTBF”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo Disponible” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 20% mayor.**

Los resultados obtenidos indican que al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo Disponible” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 20% mayor, el MTBF se verá modificado en el rango [270,84 - 275,77] hrs. Al mismo tiempo, la Disponibilidad se verá modificada en el rango [90,75 – 90,90] %.



**Fig. 22 Resultados de la Variable de Salida “Disponibilidad”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo Disponible” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 20% mayor.**

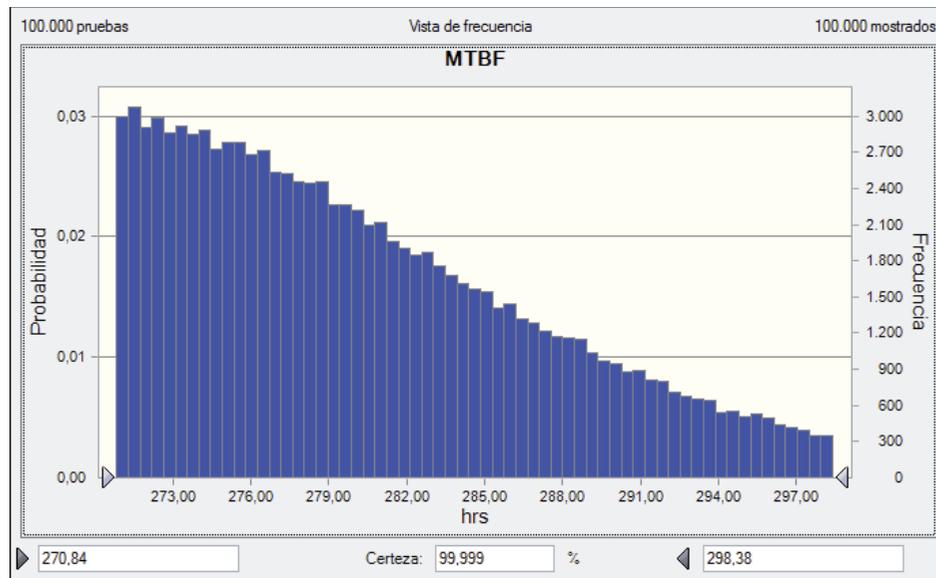
Se realiza la misma operación en la variable de entrada “Tiempo Disponible”, para asignar valores aleatorios en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 20% menor, 10% menor y 10% mayor. Estos resultados se adjuntan en el Anexo VII.

La tabla N°32, resume los valores calculados para la variable de entrada “Número de Paradas” de modo que el error relativo porcentual sea igual a -20%, -10%, 10% y 20%.

	Valor Inicial	-20%	-10%	10%	20%
Número de Fallas	6	4,8	5,4	6,6	7,2

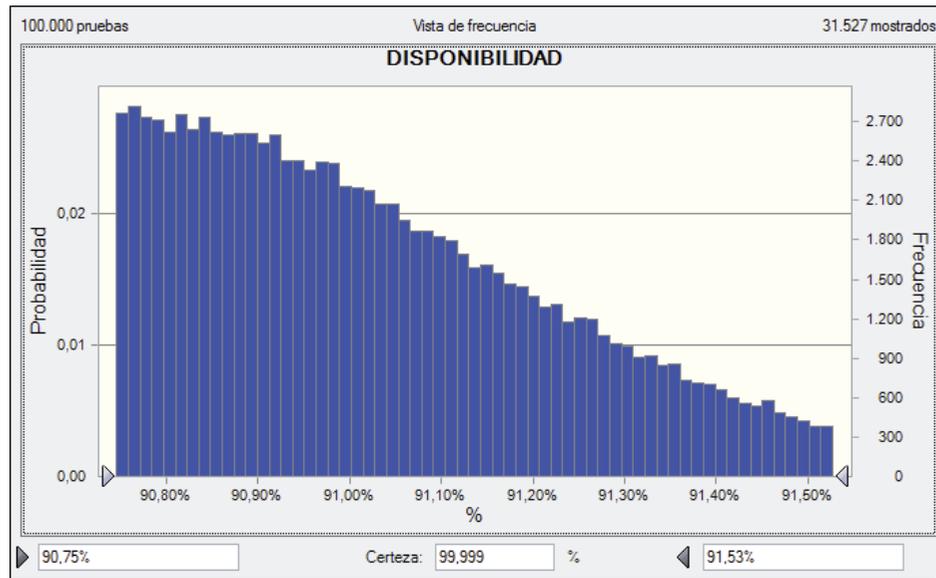
*Tabla 32 Cálculo del Número de Fallas de acuerdo al Error Relativo Porcentual.*

Se ejecuta la simulación, la cual asigna valores aleatorios a la variable de entrada “Número de Fallas”. Como las variables de entrada son inversamente proporcionales en la fórmula del MTBF, en este caso se trabaja en un rango que fluctúa desde el valor inicial hasta un valor 20% menor. Las figuras 23 y 24 corresponden a los resultados obtenidos en las variables de salida “MTBF” y “Disponibilidad”.



*Fig. 23 Resultados de la Variable de Salida “MTBF”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Número de Fallas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 20% menor.*

Los resultados obtenidos indican que al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Número de Fallas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 20% menor, el MTBF se verá modificado en el rango [270,84 - 293,38] hrs. Al mismo tiempo, la Disponibilidad se verá modificada en el rango [90,75 – 91,53] %.

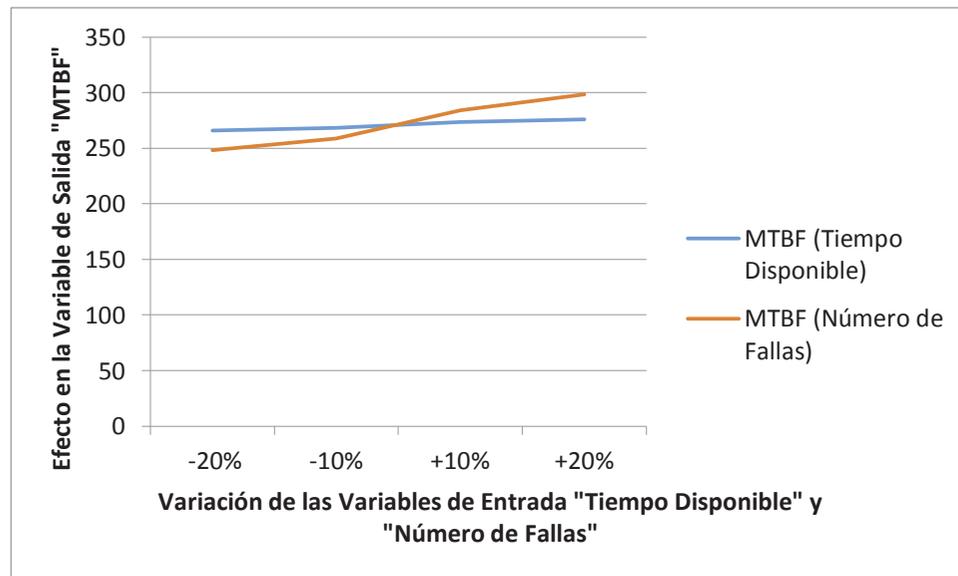


**Fig. 24 Resultados de la Variable de Salida “Disponibilidad”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Número de Fallas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 20% menor.**

Se realiza la misma operación en la variable de entrada “Número de Fallas”, para asignar valores aleatorios en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 10% menor, 10% mayor y 20% mayor. Estos resultados se adjuntan en el Anexo VII.

Al comparar la asignación de valores aleatorios, en un mismo error relativo porcentual, a las variables de entrada “Tiempo Disponible” y “Número de Fallas”, la que más afecta el valor de la variable de salida “MTBF” es el “Número de Fallas”. La figura 25 representa el efecto en la variable de salida “MTBF” al asignar valores aleatorios a las variables de entrada “Tiempo Disponible” y “Número de Fallas”.

Se puede observar que la variable de salida “MTBF” obtenida de la asignación de valores aleatorios a la variable de entrada “Número de Fallas”, tiene mayor pendiente y por ende un efecto mayor en el resultado final que la variable de salida “MTBF” obtenida de la asignación de valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo Disponible”.



*Fig. 25 Variación de las variables de entrada “Tiempo Disponible” y “Número de Fallas” del Sistema Eléctrico y su efecto en la variable de salida “MTBF” de Locomotora 661.*

Al comparar la asignación de valores aleatorios, en un mismo error relativo porcentual, a las variables de entrada “Tiempo de Paradas”, “Número de Paradas”, “Tiempo Disponible” y “Número de Fallas”, la que más afecta el valor de la variable de salida “Disponibilidad” es el “Número de Fallas”. La figura 26 representa el efecto en la variable de salida “Disponibilidad” al asignar valores aleatorios a las variables de entrada “Tiempo de Paradas”, “Número de Paradas”, “Tiempo Disponible” y “Número de Fallas”.

Se puede observar que la variable de salida “Disponibilidad” obtenida de la asignación de valores aleatorios a la variable de entrada “Número de Fallas”, tiene mayor pendiente y por ende un efecto mayor en el resultado final que las variables de salida “Disponibilidad” obtenidas de la asignación de valores aleatorios a las variables de entrada, y ordenadas decrecientemente, “Tiempo de Paradas”, “Tiempo Disponible” y “Número de Paradas”.

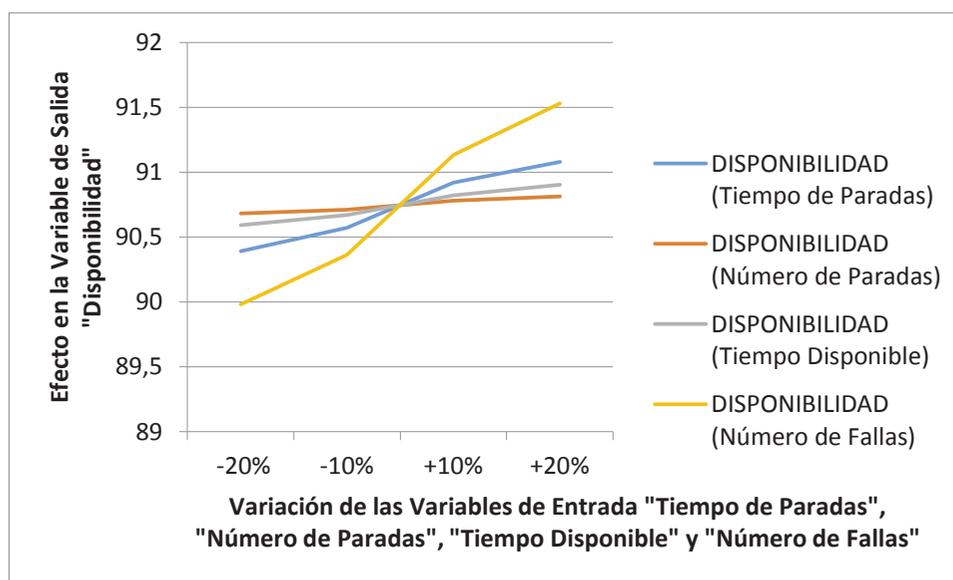


Fig. 26 Variación de las variables de entrada “Tiempo de Paradas”, “Número de Paradas”, “Tiempo Disponible” y “Número de Fallas” del Sistema Eléctrico y su efecto en la variable de salida “Disponibilidad” de Locomotora 661.

### 6.3.2. Simulación Sistema de Compresión

En este sistema las variables de entrada son “Tiempo de Paradas” y “Tiempo Disponible” (las variables de entrada “Número de Paradas” y “Número de Fallas” son cero). Se estudiará el efecto que tienen sobre la variable de salida “Disponibilidad”. En la tabla N°34 se muestran los valores iniciales de las variables de entrada.

	Valor Inicial
Tiempo de Paradas	4416 [hrs]
Tiempo Disponible	3552 [hrs]

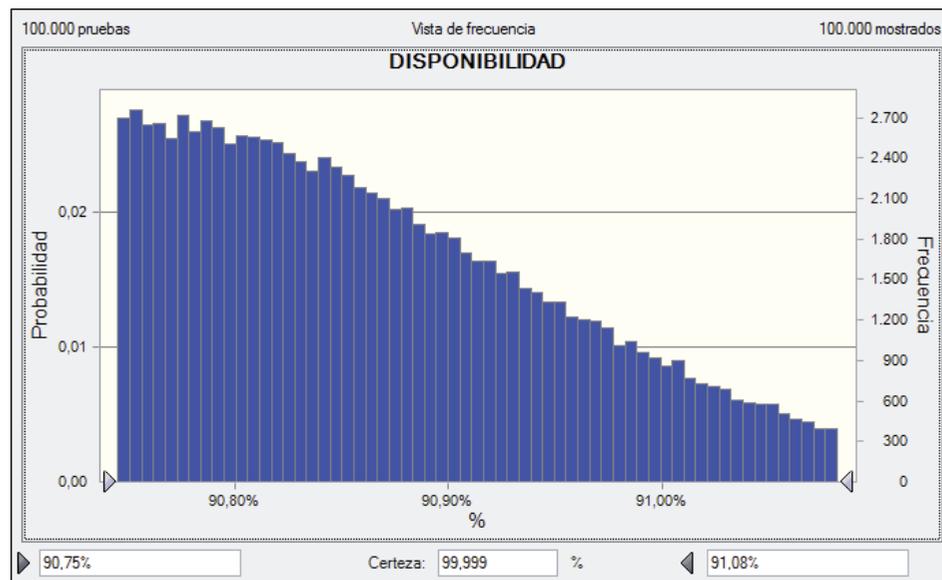
Tabla 33 Valores iniciales de las Variables de Entrada del Sistema Compresión.

La simulación asignará valores aleatorios a las variables de entrada. Para un estudio comparativo del efecto en la variable de salida, cada variable de entrada estará acotada a un mismo error relativo porcentual. La tabla N°34, resume los valores calculados para la variable de entrada “Tiempo de Paradas” de modo que el error relativo porcentual sea igual a -20%, -10%, 10% y 20%.

	Valor Inicial	-20%	-10%	10%	20%
Tiempo de Paradas	4416	3532,8	3974,4	4857,6	5299,2

*Tabla 34 Cálculo del Tiempo de Paradas de acuerdo al Error Relativo Porcentual.*

Se ejecuta la simulación, la cual asigna valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo de Paradas”, en un rango que fluctúa desde el valor inicial hasta un valor 20% menor. La figura 27 corresponde al resultado obtenido en la variable de salida “Disponibilidad”.



*Fig. 27 Resultados de la Variable de Salida “Disponibilidad”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo de Paradas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 20% menor.*

Los resultados obtenidos indican que al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo de Paradas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 20% menor, la Disponibilidad se verá modificada en el rango [90,75 – 91,08] %.

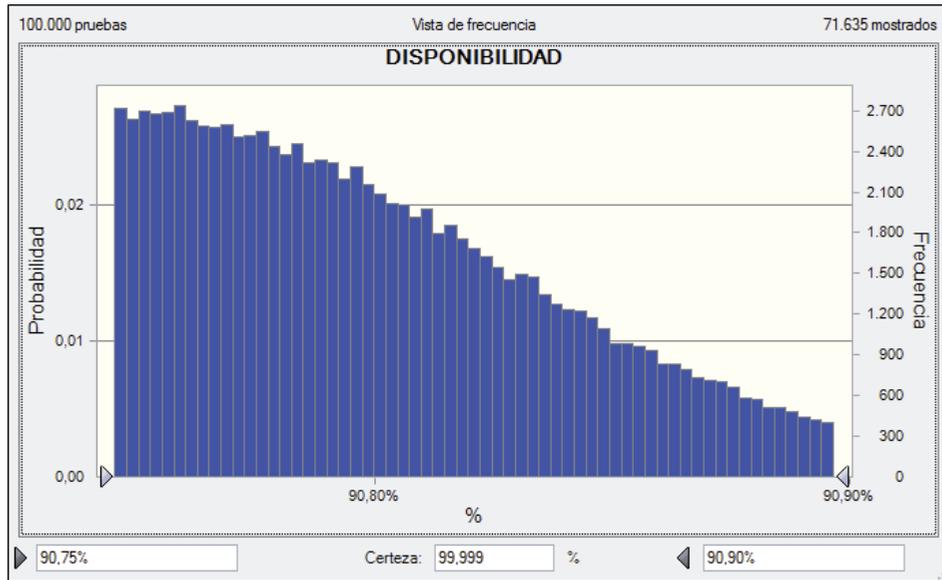
Se realiza la misma operación en la variable de entrada “Tiempo de Paradas”, para asignar valores aleatorios en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 10% menor, 10% mayor y 20% mayor. Estos resultados se adjuntan en el Anexo VII.

La tabla N°35, resume los valores calculados para la variable de entrada “Tiempo Disponible” de modo que el error relativo porcentual sea igual a -20%, -10%, 10% y 20%.

	Valor Inicial	-20%	-10%	10%	20%
Tiempo Disponible	3552	2821,6	3174,3	3879,7	4232,4

*Tabla 35 Cálculo del Tiempo Disponible de acuerdo al Error Relativo Porcentual.*

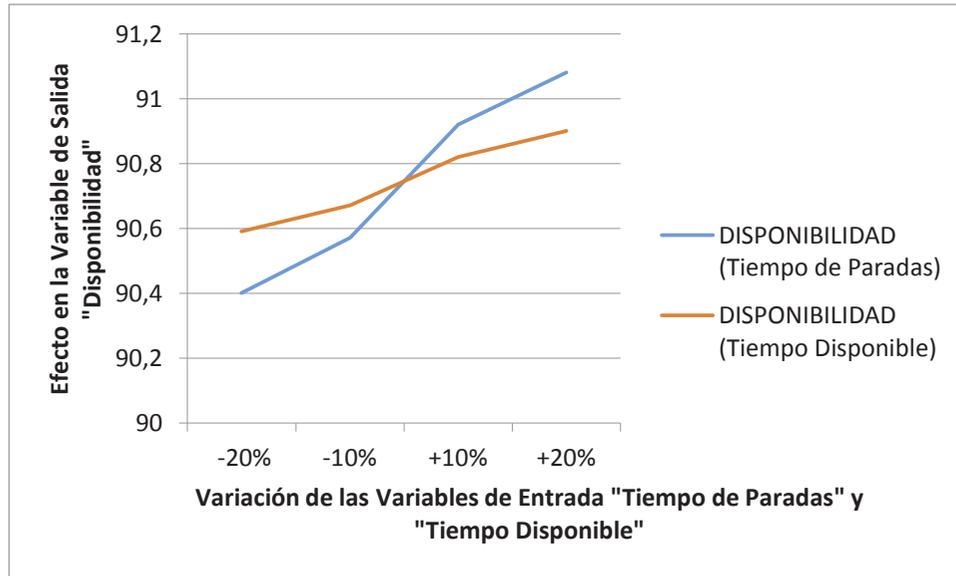
Se ejecuta la simulación, la cual asigna valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo Disponible”, en un rango que fluctúa desde el valor inicial hasta un valor 20% mayor. La figura 28 corresponde al resultado obtenido en la variable de salida “Disponibilidad”.



**Fig. 28 Resultados de la Variable de Salida “Disponibilidad”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo Disponible” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 20% mayor.**

Los resultados obtenidos indican que al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo Disponible” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 20% mayor, la Disponibilidad se verá modificada en el rango [90,75 – 90,90] %.

Al comparar la asignación de valores aleatorios, en un mismo error relativo porcentual, a las variables de entrada “Tiempo de Paradas” y “Tiempo Disponible”, la que más afecta el valor de la variable de salida “Disponibilidad” es el “Tiempo de Paradas”. La figura 29 representa el efecto en la variable de salida “Disponibilidad” al asignar valores aleatorios a las variables de entrada “Tiempo de Paradas” y “Tiempo Disponible”.



*Fig. 29 Variación de las variables de entrada “Tiempo de Paradas” y “Tiempo Disponible” del Sistema Compresión y su efecto en la variable de salida “Disponibilidad” de Locomotora 661.*

Se puede observar que la variable de salida “Disponibilidad” obtenida de la asignación de valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo de Paradas”, tiene mayor pendiente y por ende un efecto mayor en el resultado final que la variable de salida “Disponibilidad” obtenida de la asignación de valores aleatorios a la variables de entrada “Tiempo Disponible”.

### **6.3.3. Simulación Sistema Control y Comando**

Las variables de entrada son “Tiempo de Paradas”, “Número de paradas”, “Tiempo Disponible” y “Número de fallas”. En la tabla N°36 se muestran los valores iniciales de las variables de entrada.

	Valor Inicial
Tiempo de Paradas	4419 [hrs]
Número de Paradas	2
Tiempo Disponible	3549 [hrs]
Número de Fallas	2

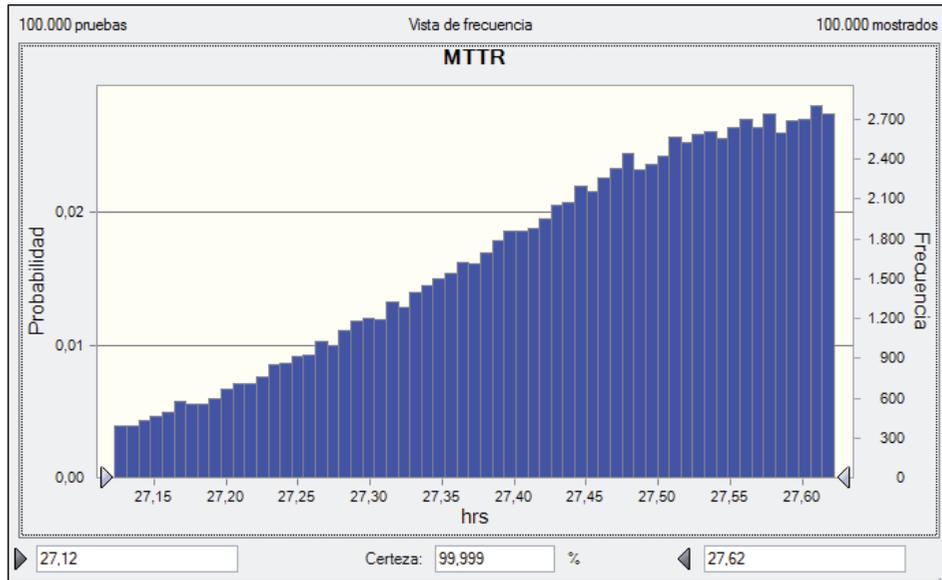
*Tabla 36 Valores iniciales de las Variables de Entrada del Sistema Control y Comando.*

La simulación asignará valores aleatorios a las variables de entrada. Para un estudio comparativo del efecto en las variables de salida, cada variable de entrada estará acotada a un mismo error relativo porcentual. La tabla N°38, resume los valores calculados para la variable de entrada “Tiempo de Paradas” de modo que el error relativo porcentual sea igual a -20%, -10%, 10% y 20%.

	Valor Inicial	-20%	-10%	10%	20%
Tiempo de Paradas	4419	3535,2	3977,1	4860,9	5302,8

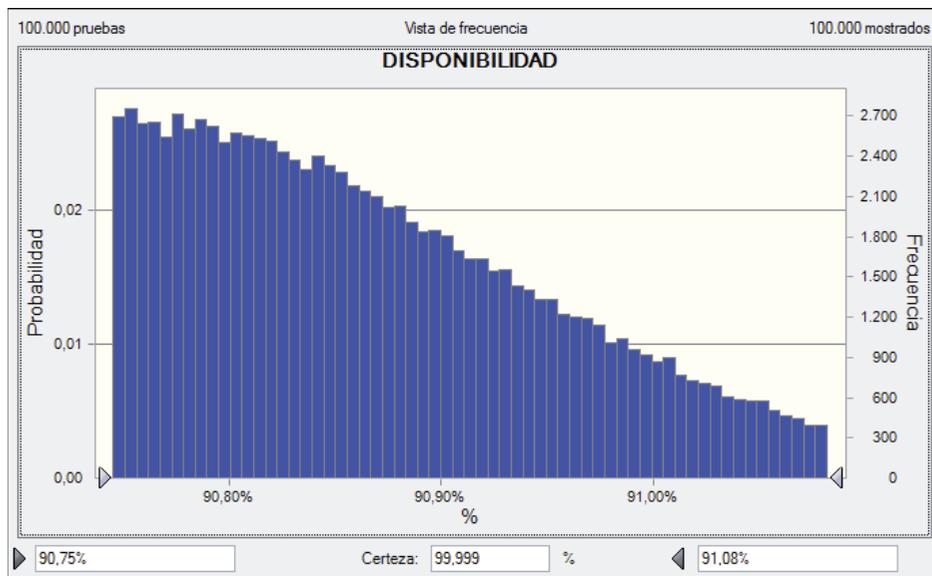
*Tabla 37 Cálculo del Tiempo de Paradas de acuerdo al Error Relativo Porcentual.*

Se ejecuta la simulación, la cual asigna valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo de Paradas”, en un rango que fluctúa desde el valor inicial hasta un valor 20% menor. Las figuras 30 Y 31 corresponden a los resultados obtenidos en las variables de salida “MTTR” y “Disponibilidad”.



*Fig. 30 Resultados de la Variable de Salida “MTTR”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo de Paradas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 20% menor.*

Los resultados obtenidos indican que al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo de Paradas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 20% menor, el MTTR se verá modificado en el rango [27,12 - 27,62] hrs. Al mismo tiempo, la Disponibilidad se verá modificada en el rango [90,75 – 91,08] %.



*Fig. 31 Resultados de la Variable de Salida “Disponibilidad”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo de Paradas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 20% menor.*

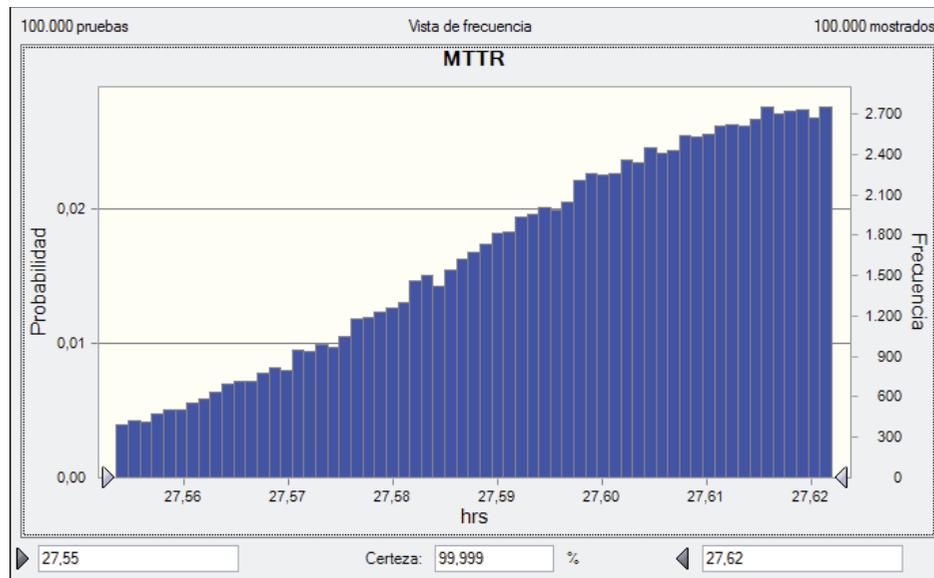
Se realiza la misma operación en la variable de entrada “Tiempo de Paradas”, para asignar valores aleatorios en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 10% menor, 10% mayor y 20% mayor. Estos resultados se adjuntan en el Anexo VII.

La tabla N°38, resume los valores calculados para la variable de entrada “Número de Paradas” de modo que el error relativo porcentual sea igual a -20%, -10%, 10% y 20%.

	Valor Inicial	-20%	-10%	10%	20%
Número de Paradas	2	1,6	1,8	2,2	2,4

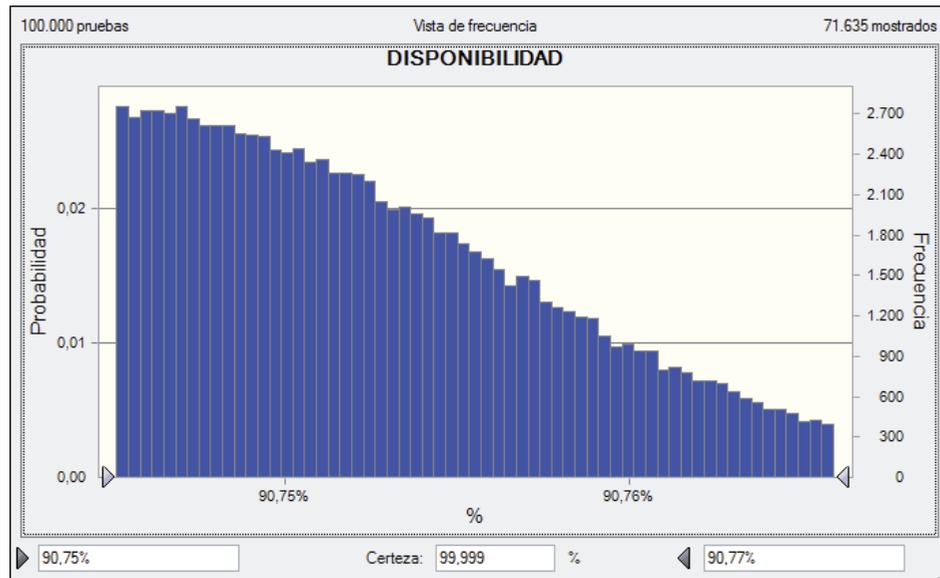
*Tabla 38 Cálculo del Número de Paradas de acuerdo al Error Relativo Porcentual.*

Se ejecuta la simulación, la cual asigna valores aleatorios a la variable de entrada “Número de Paradas”. Como las variables de entrada son inversamente proporcionales en la fórmula del MTTR, en este caso se trabaja en un rango que fluctúa desde el valor inicial hasta un valor 20% mayor. Las figuras 32 y 33 corresponden a los resultados obtenidos en las variables de salida “MTTR” y “Disponibilidad”.



*Fig. 32 Resultados de la Variable de Salida “MTTR”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo de Paradas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 20% mayor.*

Los resultados obtenidos indican que al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Número de Paradas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 20% mayor, el MTTR se verá modificado en el rango [27,55 - 27,62] hrs. Al mismo tiempo, la Disponibilidad se verá modificada en el rango [90,75 – 90,77] %.



*Fig. 33 Resultados de la Variable de Salida “Disponibilidad”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo de Paradas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 20% mayor.*

Se realiza la misma operación en la variable de entrada “Número de Paradas”, para asignar valores aleatorios en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 20% menor, 10% menor y 10% mayor. Estos resultados se adjuntan en el Anexo VII.

Al comparar la asignación de valores aleatorios, en un mismo error relativo porcentual, a las variables de entrada “Tiempo de Paradas” y “Número de Paradas”, la que más afecta el valor de la variable de salida “MTTR” es el “Tiempo de Paradas”. La figura 34 representa el efecto en la variable de salida “MTTR” al asignar valores aleatorios a las variables de entrada “Tiempo de Paradas” y “Número de Paradas”.

Se puede observar que la variable de salida “MTTR” obtenida de la asignación de valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo de Paradas”, tiene mayor pendiente y por ende un efecto mayor en el resultado final que la variable de salida “MTTR” obtenida de la asignación de valores aleatorios a la variable de entrada “Número de Paradas”.

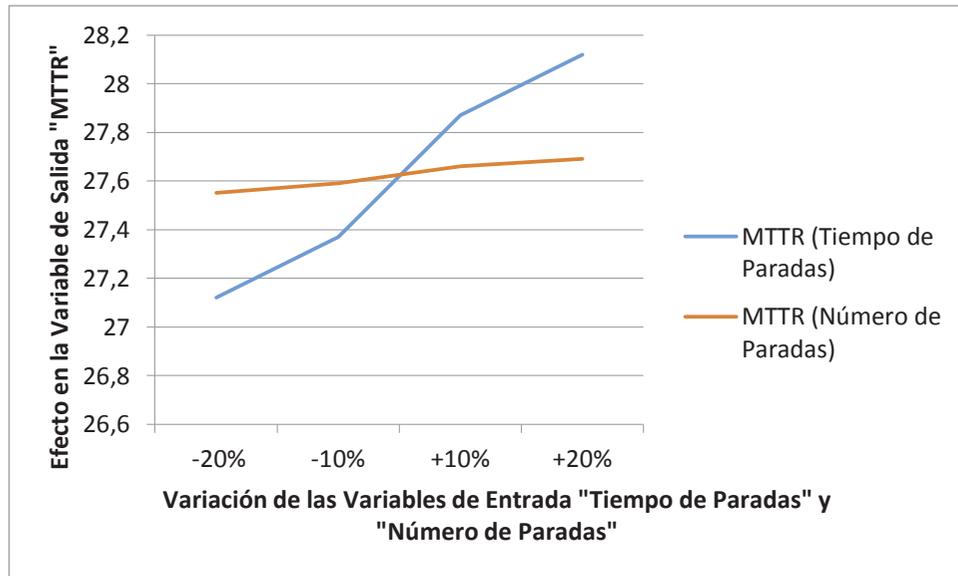


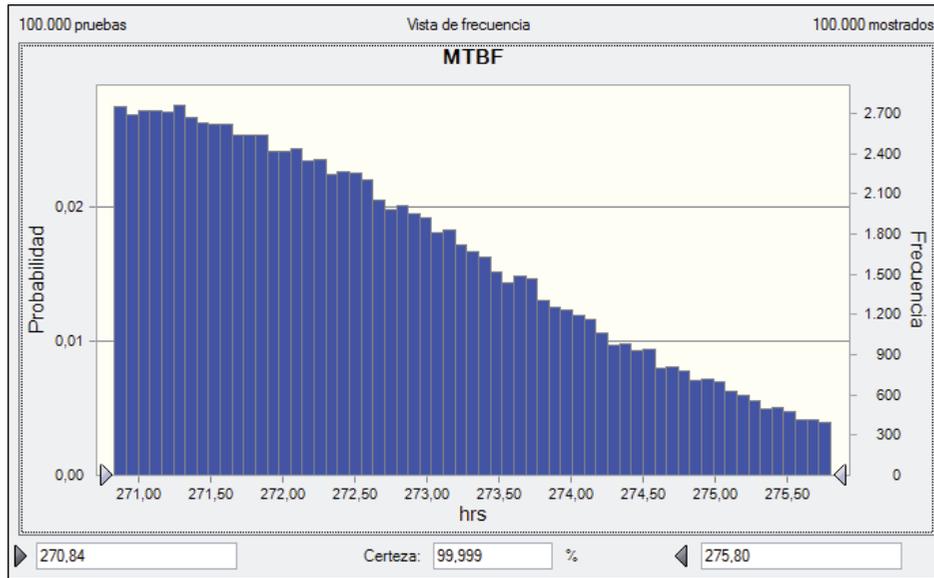
Fig. 34 Variación de las variables de entrada “Tiempo de Paradas” y “Número de paradas” del Sistema Control y Comando y su efecto en la variable de salida “MTTR” de Locomotora 661.

La tabla N°39, resume los valores calculados para la variable de entrada “Tiempo Disponible” de modo que el error relativo porcentual sea igual a -20%, -10%, 10% y 20%.

	Valor Inicial	-20%	-10%	10%	20%
Tiempo Disponible	3549	2839,2	3194,1	3903,9	4258,8

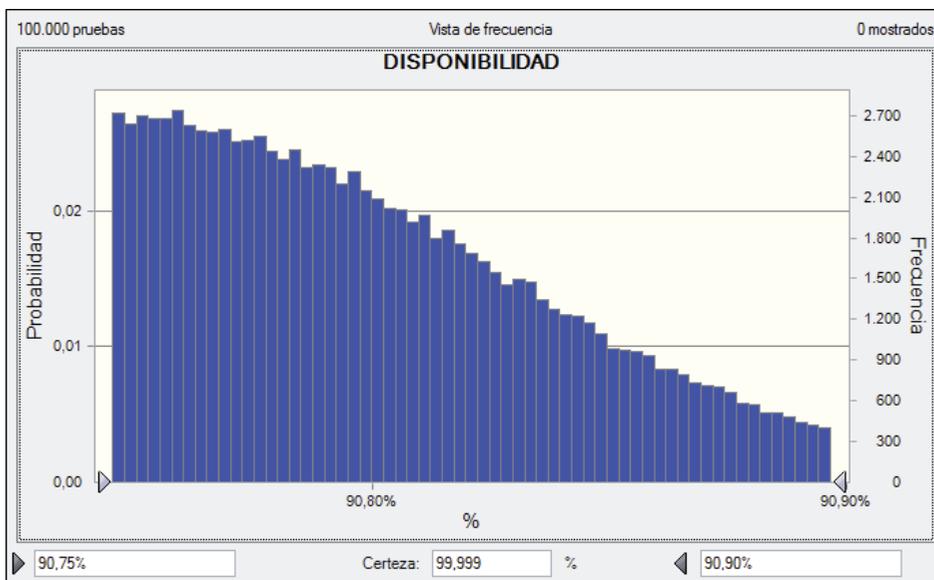
Tabla 39 Cálculo del Tiempo Disponible de acuerdo al Error Relativo Porcentual.

Se ejecuta la simulación, la cual asigna valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo Disponible”, en un rango que fluctúa desde el valor inicial hasta un valor 20% mayor. Las figuras 35 y 36 corresponden a los resultados obtenidos en las variables de salida “MTBF” y “Disponibilidad”.



**Fig. 35 Resultados de la Variable de Salida “MTBF”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo Disponible” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 20% mayor.**

Los resultados obtenidos indican que al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo Disponible” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 20% menor, el MTTR se verá modificado en el rango [270,84 - 275,80] hrs. Al mismo tiempo, la Disponibilidad se verá modificada en el rango [90,75 – 90,90] %.



**Fig. 36 Resultados de la Variable de Salida “Disponibilidad”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo Disponible” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 20% mayor.**

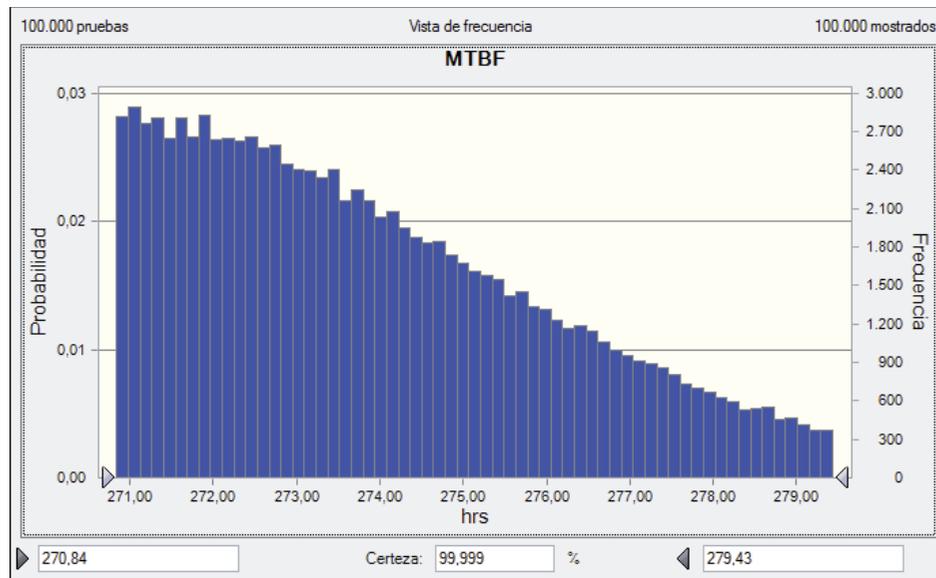
Se realiza la misma operación en la variable de entrada “Tiempo Disponible”, para asignar valores aleatorios en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 20% menor, 10% menor y 10% mayor. Estos resultados se adjuntan en el Anexo VII.

La tabla N°40, resume los valores calculados para la variable de entrada “Número de Fallas” de modo que el error relativo porcentual sea igual a -20%, -10%, 10% y 20%.

	Valor Inicial	-20%	-10%	10%	20%
Número de Fallas	2	1,6	1,8	2,2	2,4

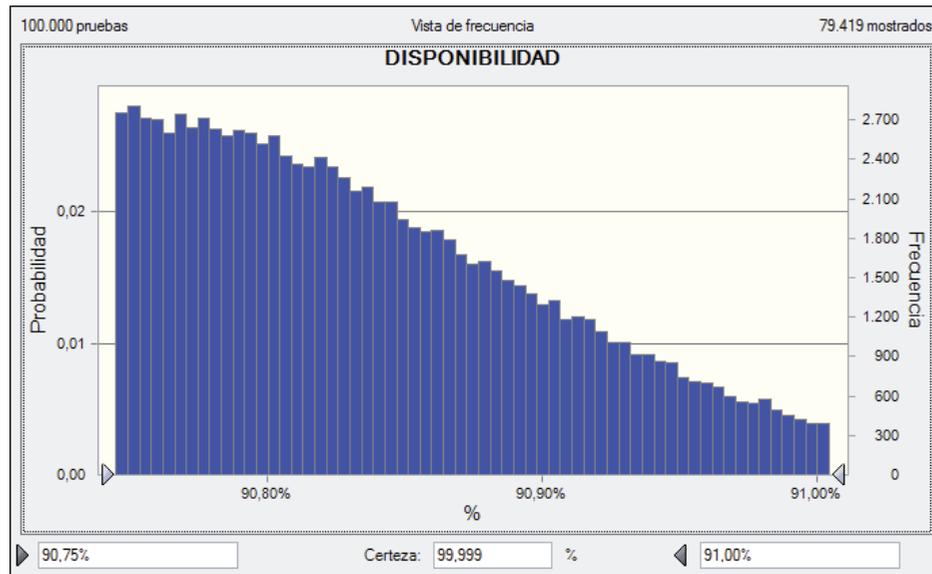
*Tabla 40 Cálculo del Número de Fallas de acuerdo al Error Relativo Porcentual.*

Se ejecuta la simulación, la cual asigna valores aleatorios a la variable de entrada “Número de Fallas”. Como las variables de entrada son inversamente proporcionales en la fórmula del MTBF, en este caso se trabaja en un rango que fluctúa desde el valor inicial hasta un valor 20% menor. Las figuras 37 y 38 corresponden a los resultados obtenidos en las variables de salida “MTBF” y “Disponibilidad”.



*Fig. 37 Resultados de la Variable de Salida “MTBF”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Número de Fallas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 20% menor.*

Los resultados obtenidos indican que al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Número de Fallas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 20% menor, el MTBF se verá modificado en el rango [270,84 - 279,43] hrs. Al mismo tiempo, la Disponibilidad se verá modificada en el rango [90,75 – 91,00] %.

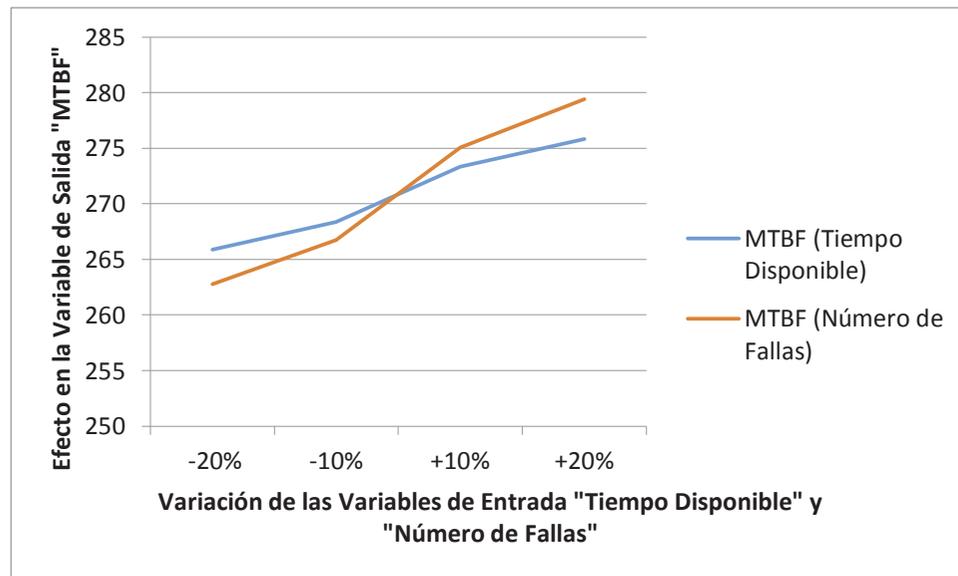


**Fig. 38 Resultados de la Variable de Salida “Disponibilidad”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Número de Fallas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 20% menor.**

Se realiza la misma operación en la variable de entrada “Número de Fallas”, para asignar valores aleatorios en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 10% menor, 10% mayor y 20% mayor. Estos resultados se adjuntan en el Anexo VII.

Al comparar la asignación de valores aleatorios, en un mismo error relativo porcentual, a las variables de entrada “Tiempo Disponible” y “Número de Fallas”, la que más afecta el valor de la variable de salida “MTBF” es el “Número de Fallas”. La figura 39 representa el efecto en la variable de salida “MTBF” al asignar valores aleatorios a las variables de entrada “Tiempo Disponible” y “Número de Fallas”.

Se puede observar que la variable de salida “MTBF” obtenida de la asignación de valores aleatorios a la variable de entrada “Número de Fallas”, tiene mayor pendiente y por ende un efecto mayor en el resultado final que la variable de salida “MTBF” obtenida de la asignación de valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo Disponible”.



*Fig. 39 Variación de las variables de entrada “Tiempo Disponible” y “Número de Fallas” del Sistema Control y Comando y su efecto en la variable de salida “MTBF” de Locomotora 661.*

Al comparar la asignación de valores aleatorios, en un mismo error relativo porcentual, a las variables de entrada “Tiempo de Paradas”, “Número de Paradas”, “Tiempo Disponible” y “Número de Fallas”, la que más afecta el valor de la variable de salida “Disponibilidad” es el “Tiempo de Paradas”. La figura 40 representa el efecto en la variable de salida “Disponibilidad” al asignar valores aleatorios a las variables de entrada “Tiempo de Paradas”, “Número de Paradas”, “Tiempo Disponible” y “Número de Fallas”.

Se puede observar que la variable de salida “Disponibilidad” obtenida de la asignación de valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo de Paradas”, tiene mayor pendiente y por ende un efecto mayor en el resultado final que las variables de salida “Disponibilidad” obtenidas de la asignación de valores aleatorios a las variables de entrada, y ordenadas decrecientemente, “Número de Fallas”, “Tiempo Disponible” y “Número de Paradas”.

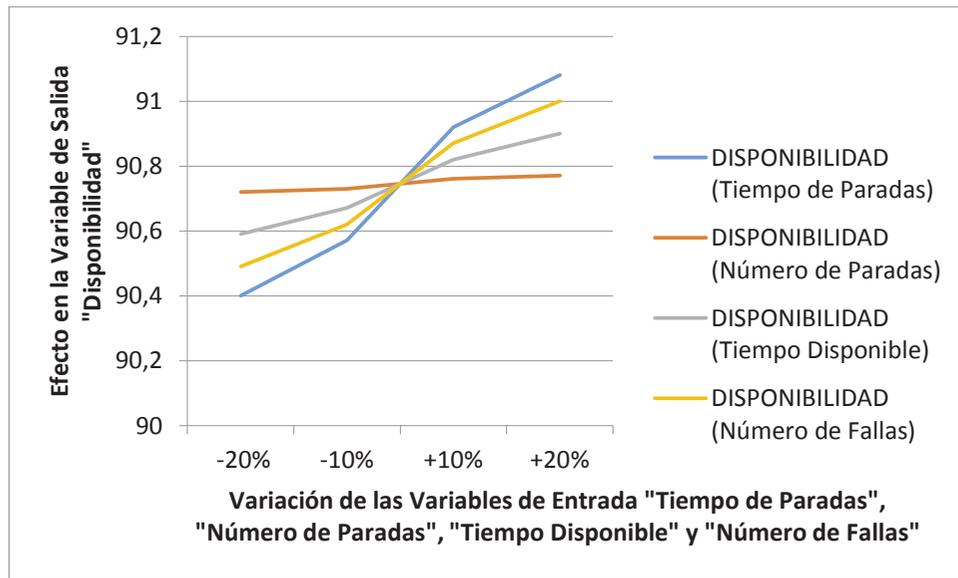


Fig. 40 Variación de las variables de entrada “Tiempo de Paradas”, “Número de Paradas”, “Tiempo Disponible” y “Número de Fallas” del Sistema Control y Comando y su efecto en la variable de salida “Disponibilidad” de Locomotora 661.

#### 6.3.4. Análisis de Resultados

Al analizar los resultados obtenidos con el mismo error relativo porcentual, en el Sistema Eléctrico se observa que el MTTR se ve afectado en primer lugar por el tiempo de paradas y luego por el número de paradas. Para el MTBF se observa que se ve afectado en primer lugar por el número de fallas y luego por el tiempo disponible. En el caso de la disponibilidad la mayor influencia la tiene el número de fallas, luego el tiempo de paradas, tiempo disponible y finalmente el número de fallas.

En el caso del sistema de compresión, para el rango de tiempo en estudio no hubo paradas ni fallas específicas de este sistema, por lo que el estudio contempló el tiempo de paradas y tiempo disponible para analizar de qué manera afectan la disponibilidad. Se obtuvo como resultados en primer lugar el tiempo de paradas y luego el tiempo disponible.

Finalmente, en el sistema de control y comando, el MTTR se ve afectado de igual manera que en el sistema eléctrico, es decir en primer lugar por el tiempo de paradas y luego el número de paradas. Lo mismo para el MTBF, donde se ve afectado primero por el número de fallas y luego por el tiempo disponible. En el caso de la disponibilidad a diferencia del sistema eléctrico, se ve afectada primero por el tiempo de paradas, luego número de fallas, tiempo disponible y finalmente número de paradas, se debe mencionar que en el sistema de control y comando el número de fallas es muy pequeño, por lo que la variación de su valor afecta menos la disponibilidad que en el sistema eléctrico.

La tabla N°30 resume en términos generales y en orden decreciente, el efecto que produce sobre las variables de salida, la asignación de valores aleatorios a las variables de entrada simuladas, en un mismo error relativo porcentual.

<b>Variables de Salida</b>	<b>Variables de Entrada Simuladas</b>
MTTR	1. Tiempo de Paradas
	2. Número de Paradas
MTBF	1. Número de Fallas
	2. Tiempo Disponible
Disponibilidad	1. Número de Fallas
	2. Tiempo de Paradas
	3. Tiempo Disponible
	4. Número de Paradas

*Tabla 41 Orden decreciente del efecto en las variables de salida, al simular las variables de entrada de sistemas críticos de Locomotora 661.*

## CAPÍTULO VII: “OPORTUNIDAD DE MEJORAMIENTOS”

Luego de estudiar la situación actual de los planes de mantenimiento, actualizar la carga de trabajo teórica, establecer un nuevo ciclo de mantenimiento, crear una pauta de control de gestión basada en KPI y la inclusión de información histórica de los fallos a las pautas de mantenimiento, se identifican otros campos donde se está débil y donde existen grandes oportunidades de mejoras:

1. Establecer claramente las funciones y responsabilidades, en el proceso de mantenimiento.
2. Capacitación del personal respecto a la importancia del llenado e ingreso de pautas al sistema.
3. Realizar gestión de repuestos, mediante la creación de una base de datos que permita conocer el stock disponible y llevar un registro de las compras.

### 7.1. Funciones y responsabilidades

- **Jefe de Mantenimiento:** Responsable de que todas las mantenciones se realicen organizada, segura y eficientemente. Debe verificar en terreno y con su firma, que se cumplan las exigencias de seguridad (Bloqueos, Permisos de Trabajo, AST<sup>16</sup>).
- **Jefe de Taller:** Responsable de la organización y gestión de recursos para el desarrollo de las mantenciones, encargado de planificar y asignar las tareas y equipos de trabajo diarios.

---

<sup>16</sup> AST, Análisis Seguro de la Tarea. Documento corporativo que se debe completar antes de la realización de cualquier actividad dentro de las dependencias de Codelco Chile, ya sea por personal propio o externo, en el que identifican los riesgos de la actividad y se coordina la labor a realizar con el propósito de evitar accidentes.

- **Mantenedores:** Responsables de ejecutar las pautas de mantenimiento, preventivas o correctivas, de manera segura y organizada. Debe llenar AST y pauta correspondiente a cada actividad, en conjunto con su equipo de trabajo asignado, de manera detallada y responsablemente. Depositarla en el planillero si la mantención queda pendiente, para que el turno siguiente tenga conocimiento, y una vez completada la debe entregar al programador.
- **Planificador:** Responsable de planificar y solicitar los equipos ferroviarios para sus respectivas pautas, preventivas o correctivas. Interactúa directamente con el programador en cuanto a los avisos y ordenes que este debe generar.
- **Programador:** Responsable de crear las órdenes y avisos en SAP de todas las pautas, preventivas y correctivas, de acuerdo a información recibida por el planificador. También está encargado de entregar a los mantenedores las pautas correspondientes, para el desarrollo y llenado de estas, como también de ingresarlas al sistema una vez finalizas las mantenciones, con todos los detalles que el mantenedor describa.
- **Gestión de Repuestos:** Gestión a cargo de planificadores, que aseguren la compra de los materiales con anticipación de acuerdo a las actividades programadas del mes. Debe solicitar la compra enviando un documento que incluya la descripción, N° de parte y cantidad correspondiente a los materiales que se requieran, para evitar compras erróneas y que los productos se encuentren disponibles al momento de ser requeridos.
- **Bodeguero/Pañolero:** Responsable de la llegada, recepción, control y entrega de materiales. Debe registrar los movimientos, llevar un catastro de lo que hay disponible, y mantener el orden en las bodegas y pañol.

## **7.2. Capacitación de llenado e ingreso de pautas al sistema**

Para disponer de buena información en línea, se hace necesario que toda mantención sea ingresada de manera detallada y lo más completa posible. Las observaciones más graves identificadas, tienen relación con la descripción de actividades, ubicaciones técnicas erróneas y duración de las labores sin completar o con errores en las fechas. Se debe evitar que el programador reciba información errada por parte de los mantenedores o que este las ingrese al sistema sin analizar lo descrito en las pautas.

Será necesario entonces que los mantenedores especifiquen en detalle la actividad que realizan, que el programador pueda asociar correctamente estas actividades con la ubicación técnica creada en SAP para el equipo y sistema en cuestión, y que la duración de las labores (real) que se ingresan al sistema, permitan en un futuro la realización de análisis comparativos entre carga de trabajo real y teórica, lo cual es un tema pendiente hasta ahora.

Al sistema SAP se ingresan 3 tipos de avisos según el tipo de mantenimiento que se realiza. Se denomina M1 a una suborden (labor que no se incluye en las pautas, por lo general una mejora operacional), M2 cuando es Mantenimiento Correctivo y/o Equipo Accidentado y M3 para Mantenimiento Planificado.

Cada equipo debe contar con un plan de mantenimiento vigente en el sistema SAP, que posea la información de carga de trabajo teórica, y desde donde se podrán descargar todas las pautas correspondientes para el equipo, manual del fabricante, planos, etc. Se solicita además que cada equipo cuente con un planillero, en la cabina del operador, donde se puedan guardar las pautas no concluidas a la espera del siguiente turno, evitando la pérdida del documento y permitiendo que las actividades se realicen de manera continua entre los turnos, evitando repeticiones, pérdidas de tiempo y de materiales.

### **7.2.1. Mantenimiento preventivo**

Para realizar mantenimiento preventivo, el programador descargará la pauta correspondiente y la imprimirá. Luego, les hará entrega de esta a los mantenedores para que la ejecuten. Cada equipo constará de un planillero para pautas no concluidas dentro del transcurso del turno, de esta manera el turno siguiente dispondrá de la información de las labores realizadas para continuar la mantención.

Una vez concluida la mantención y escrita toda la información en la pauta, se debe entregar al programador para que este ingrese la información en un aviso al sistema SAP. Finalmente el programador debe archivar el documento en la carpeta asignada al equipo, la cual quedará guardada en la oficina de los mantenedores.

### **7.2.2. Mantenimiento correctivo, mejora operacional o equipo accidentado**

Cuando se debe generar un mantenimiento correctivo, MOPC<sup>17</sup> o EQAC<sup>18</sup>, existe una plantilla del taller, la cual se debe llenar completan todos los campos y desde la cual se solicitan los repuestos a utilizar. La figura 41 corresponde a un ejemplar de esta plantilla.

---

<sup>17</sup> MOPC, se designan con esta sigla los avisos en SAP de Mejoras Operacionales.

<sup>18</sup> EQAC, se designan con esta sigla los avisos en SAP de Equipos Accidentados.



Esta plantilla se debe llenar con todos los datos que se piden, y marcar con una cruz el cuadro del tipo de tarea a realizar, según corresponda. Una vez llenada, se debe dejar en buzón de planificación o entregar directamente al programador para que este solicite los repuestos. Luego la planilla se devuelve al mantenedor mientras dura la mantención, siguiendo el mismo procedimiento que se explicó anteriormente.

Se acordó que en el caso que un equipo llegue a mantención (planificada) y se agregue un mantenimiento correctivo, equipo accidentado o mejora operacional, el procedimiento será exactamente el mismo, pero adjuntando la plantilla junto a la pauta de mantenimiento planificado.

### **7.3. Gestión de repuestos y materiales**

La propuesta en gestión de repuestos y materiales para mantenimiento de equipos de servicio y apoyo a la producción de maestranza 1, es poder contar con una base de datos que permita conocer los repuestos y/o materiales que hay disponibles, en qué bodega o pañol se ubican y llevar un registro de lo que se entrega (quien solicita, cantidad y fecha), que permita minimizar costos por pérdidas y tiempos de búsqueda.

Para llevar a cabo esta gestión y lograr su objetivo se necesitará una implementación por etapas que permita retroalimentar la propuesta inicial. En una primera etapa se propone:

#### **7.3.1. Equipo encargado de pautas de mantenimiento**

1. Revisar, corregir y actualizar la lista de repuestos contenida en cada pauta preventiva de los equipos de servicio.
2. Asignar a una persona en el rol de Bodeguero/Pañolero.
3. Crear una plantilla de Gestión de Repuestos y Materiales.
4. Una vez recibido el levantamiento de parte de Bodeguero/Pañolero, determinar qué elementos realmente sirven o pueden servir, separar los elementos que se han

comprado erróneamente y tomar acción en cuanto a estos últimos (reubicar, eliminar, abastecer otras áreas que lo requieran, etc.)

### **7.3.2. Bodeguero/Pañolero**

1. Realizar un levantamiento de todos los materiales y repuestos de equipos de servicio y apoyo a la producción de maestranza 1, que ya hay en bodega y pañol, identificando las cantidades disponibles.
2. Registrar levantamiento en la planilla de gestión de repuestos y archivar el documento.
3. Una vez puesta en marcha el proceso, llenar planilla de Gestión de Repuestos, a medida que vaya haciendo entrega de estos, registrando quien solicita, cantidad, fecha, y archivar el documento.
4. Semanalmente actualizar el registro de stock disponible, para retroalimentar el proceso.
5. Mantener aseo, organización y orden, como también asegurar mantener las bodegas y pañol cerrado con llave, obligatoriamente en cada cambio de turno, y dentro del transcurso del turno cada vez que sea necesario y estime conveniente.

De esta manera se espera llevar un orden en cuanto a repuestos y materiales, optimizar costos asociados a compras, menor tiempo asociado a la búsqueda y entrega de repuestos y materiales, mejor organización, espacios disponibles, registro y control de movimientos, etc. Además de la posibilidad de ir mejorando el proceso.

Se espera para etapas posteriores poder contar con un bodeguero/pañolero capacitado en administración de inventarios, que maneje herramientas computacionales para el registro en línea de ubicación y cantidad de stock requerido, disponible y entregado, y formar parte de la planificación de las mantenciones.

## **CAPÍTULO VIII: “CONCLUSIÓN”**

El estudio de estrategias de mantenimiento ha sido un nuevo comienzo de ciclos de mejoramiento continuo impulsados por la Unidad Ferrocarril Teniente 8 para los equipos de servicio y apoyo a la producción. Para evaluar la gestión del mantenimiento, resulta indispensable poder contar con una base de datos buena. Es por esto que como estrategia inicial se obtuvo la información correspondiente a los planes de mantenimiento del parque de equipos, y se actualizó información errónea o no ingresada, lo que permitirá desde ahora hacer estudios referentes a la carga de trabajo real vs teórica, planificación y evaluación del recurso humano.

En relación al mejoramiento de las pautas de mantenimiento, se aplicó una estrategia de identificación de sistemas críticos de los equipos en estudio, considerando factores que están al alcance de la mano en los sistemas divisionales, y la aplicación de un análisis de modos de fallos, efectos y criticidad, que en base a la jerarquización del nivel de riesgo de cada falla, hizo posible proponer cambios y mejoramientos a las actividades y frecuencias contenidas en las pautas, retroalimentando el proceso de mantenimiento para mejorar indicadores claves.

Otra estrategia que se aplicó es la implementación de una pauta de control basada en KPI. Si bien todo el equipo maneja los conceptos de disponibilidad, confiabilidad, MTBF, MTTR, etc. Es muy necesario que cualquier supervisor pueda contar con una herramienta capaz de calcular y simular, para un período de tiempo en estudio, ciertos indicadores clave de manera directa y eficaz. Lo que permitirá evaluar situaciones e identificar debilidades, para dar un correcto énfasis de acuerdo a las necesidades administrativas o del cliente.

Finalmente, se identifican debilidades que son reales oportunidades de mejora, como el establecimiento de responsabilidades claras para cada miembro del equipo, capacitaciones y gestión de repuestos, siendo el puntapié inicial de futuras propuestas y mejoramientos, que apunten a alcanzar un mantenimiento de excelencia, acorde a las exigencias del futuro.

## BIBLIOGRAFÍA

- Louit, Darko. Calama (2012). **Mantenimiento: Un proceso estratégico**, Presentación de 6° Seminario de Acercamiento Tecnológico.
- Gardella González, Marc. Valencia (2011). **Mejora de Metodología RCM a partir del AMFEC e Implantación de Mantenimiento Preventivo y Predictivo en Plantas de Procesos**, Tesis Doctoral
- Primera, Ernesto. (2011). **Indicadores de Gestión (KPI) para Mantenimiento y Confiabilidad**, Councilor Global ASQ Reliability Division.
- Amendola, Luis. (2002). **Modelos mixtos de confiabilidad**, Ed. Universidad Politécnica de Valencia, España.
- Torres Arcique Rocío, Magaña Jimenez Diana. (2010). **Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (AMFEC) para la planeación del mantenimiento empleando criterios de riesgo y confiabilidad.**
- Calixto Rodríguez Roberto, Sandoval Valenzuela Salvador, Rea Soto Rogelio. (2012). **Implantación gradual de estrategias de mantenimiento dentro de un proceso RCM.** Boletín IIE, México.
- <http://www.renovetec.com/590-mantenimiento-industrial/110-mantenimiento-industrial/300-indicadores-en-mantenimiento>, Fecha de consulta: Mayo 2014
- <https://www.youtube.com/watch?v=bAxmRI0vQVc>, Fecha de consulta: Diciembre 2014.
- <http://es.slideshare.net/raphaelrey/simulacin-montecarlo-con-crystal-ball>, Fecha de consulta: Diciembre 2014.

## ANEXOS

### ANEXO I: Listado histórico de avisos de falla de locomotora “NREC – 2GS-16B” #661

La tabla N°44 muestra el historial de fallas de la locomotora 661, desde enero de 2010 a junio de 2014, para la identificación de sistemas críticos y diagramas de Pareto.

UBICACIÓN TÉCNICA	DURACIÓN	COSTO	INICIO AVERÍA	MODO DE FALLA	PARTE PIEZA ELEMENTO
TNL1-ATP	0,5	4614,07	22.08.2011	Quemado por Cortocircuito	Tarjeta T-44 Bombardier
TNL1-ATP	22,0	755,62	20.02.2014	Término de Vida Útil	Batería ATP
TNL1-ATP	2,5	223,90	02.06.2014	Quemado por Cortocircuito	Modem ATP
TNL1-SCC	1,0	7284,25	27.09.2011	Quemado por Cortocircuito	Relay, Transductores y Tarjetas Electrónicas
TNL1-SCC	78,0	718,08	30.03.2012	Quemado por Cortocircuito	Tarjeta de Control
TNL1-SCC	3,0	1797,48	05.04.2013	Quemado por Cortocircuito	Panel NFORCE
TNL1-SCC	0,5	45,35	12.12.2013	Término de Vida Útil	Selector de Freno de Aparcamiento
TNL1-SCO	2214,5	8746,81	30.03.2010	Término de Vida Útil	Aceite y Filtros Compresor
TNL1-SEL	0,0	4960,42	09.06.2010	Golpe o Término de Vida Útil	Focos
TNL1-SEL	0,0	198,07	28.09.2011	Golpe o Término de Vida Útil	Focos
TNL1-SEL	1,0	227,58	06.03.2014	Golpe o Término de Vida Útil	Focos
TNL1-SEL	751,0	547,36	30.06.2010	Quemado por Cortocircuito	Fuente de Poder LVPS
TNL1-SEL	1,0	10859,95	30.08.2011	Quemado por Cortocircuito	Fuente de Poder LVPS
TNL1-SEL	895,5	20097,72	09.11.2011	Quemado por Cortocircuito	Fuente de Poder LVPS
TNL1-SEL	2,0		16.11.2011	Quemado por Cortocircuito	Fuente de Poder LVPS
TNL1-SEL	1124,0	6283,20	04.07.2012	Cables cortados	Fuente de Poder LVPS
TNL1-SEL	8,0	718,08	28.08.2012	Cables cortados	Fuente de Poder LVPS
TNL1-SEL	2,0	200,15	10.09.2012	Aislamiento	Contactador de Marcha
TNL1-SEL	6,0	5404,20	11.02.2014	Aislamiento	Contactador de Compresor
TNL1-SEL	6,0	634,49	20.02.2014	Aislamiento	Contactador de Compresor
TNL1-SEL	31,0	1269,80	13.08.2013	Término de Vida Útil	Baterías
TNL1-SEL	6,0	268,68	26.05.2014	Término de Vida Útil	Baterías
TNL1-SEL	6,0	4127,07	27.05.2014	Término de Vida Útil	Baterías
TNL1-SEL	1,0	218,05	27.10.2011	Quemado por Cortocircuito	Diodo Zener
TNL1-SES	2,0	89,56	29.07.2014	Golpe o Término de Vida Útil	Cerradura
TNL1-SFR	0,0	151,74	22.02.2011	Término de Vida Útil	Zapatas
TNL1-SFR	4,5	625,20	20.06.2012	Término de Vida Útil	Zapatas
TNL1-SFR	8,0	725,60	05.07.2013	Asiento de Válvula Humedecido	Válvula de Freno

TNL1-SPO	21,5	2739,60	16.05.2011	Mal Diseño	Empaquetadura de Escape
TNL1-SPO	15,5	3503,38	07.07.2011	Término de Vida Útil	Aceite y Filtro de Motor
TNL1-SPO	1,0	377,86	12.08.2011	Término de Vida Útil	Filtro de Aire
TNL1-SPO	1,0	779,35	23.08.2011	Término de Vida Útil	Filtro de Aire
TNL1-SPO	0,5	779,35	26.08.2011	Término de Vida Útil	Filtro de Aire
TNL1-SPO	2,0	294,92	10.07.2013	Término de Vida Útil	Filtro de Aire
TNL1-SPO	4,0	358,24	21.04.2014	Término de Vida Útil	Mangueras de Escape
TNL1-SPO	1,0	357,80	30.06.2014	Término de Vida Útil	Mangueras de Escape
TNL1-SRO	24,0	725,60	11.11.2013	Trabado	Inversor de Marcha

*Tabla 42 Historial de fallas de locomotora 661, enero de 2010 a junio de 2014.*

## ANEXO II: Listado histórico de avisos de falla de locomotora “NREC – 2GS-16B” #662

La tabla N°45 muestra el historial de fallas de la locomotora 662, desde enero de 2010 a junio de 2014, para la identificación de sistemas críticos y diagramas de Pareto.

UBICACIÓN TÉCNICA	DURACIÓN	COSTO	INICIO AVERÍA	MODO DE FALLA	PARTE PIEZA ELEMENTO
TNL2-ATP	29	3,42	10.12.2010	Quemado por Cortocircuito	Convertor ATP
TNL2-ATP	1.279,00	22404,31	17.02.2011	Quemado por Cortocircuito	Baliza ATP
TNL2-ATP	31,00	304,4	11.04.2011	Aislamiento	Módulo ATP
TNL2-ATP	1	4614,07	22.08.2011	Quemado por Cortocircuito	Tarjeta T-44 Bombardier
TNL2-ATP	1	9190,09	31.08.2011	Quemado por Cortocircuito	Tarjeta T-44 Bombardier
TNL2-ATP	1,25	6678,42	04.01.2013	Golpe	Antena ATP
TNL2-SCC	4	34,21	09.12.2010	Quemado por Cortocircuito	Pantalla
TNL2-SCC	1	7284,25	27.09.2011	Aislamiento	Relay, Transductores y Tarjetas Electrónicas
TNL2-SCC	4	1797,48	05.04.2013	Quemado por Cortocircuito	Panel NFORCE
TNL2-SCC	1	90,7	29.11.2013	Término de Vida Útil	Selector de Velocidad
TNL2-SCO	2	272,1	16.08.2013	Asiento de Válvula Humedecido	Válvula de Freno
TNL2-SEL	6,5	273,68	05.04.2010	Quemado por Cortocircuito	Fuente de Poder LVPS
TNL2-SEL	413,5	821,04	05.11.2010	Quemado por Cortocircuito	Fuente de Poder LVPS
TNL2-SEL	3	547,36	22.12.2010	Quemado por Cortocircuito	Fuente de Poder LVPS
TNL2-SEL	962,66		09.11.2011	Quemado por Cortocircuito	Fuente de Poder LVPS
TNL2-SEL	991,5	10859,95	11.10.2011	Quemado por Cortocircuito	Fuente de Poder LVPS
TNL2-SEL	1	20097,72	09.11.2011	Quemado por Cortocircuito	Fuente de Poder LVPS
TNL2-SEL	582	2435,2	30.01.2012	Quemado por Cortocircuito	Fuente de Poder LVPS
TNL2-SEL	7,5	626,92	11.07.2014	Quemado por Cortocircuito	Fuente de Poder LVPS
TNL2-SEL	0	4960,42	09.06.2010	Golpe o Término Vida Útil	Focos
TNL2-SEL	7		26.08.2011	Golpe o Término Vida Útil	Focos
TNL2-SEL	3	2729,58	26.08.2011	Golpe o Término Vida Útil	Focos
TNL2-SEL	1,85	198,07	28.09.2011	Golpe o Término Vida Útil	Focos
TNL2-SEL	1	204,16	26.12.2011	Golpe o Término Vida Útil	Focos
TNL2-SEL	2	359,04	05.07.2012	Golpe o Término Vida Útil	Focos
TNL2-SEL	4	208,21	09.07.2012	Golpe o Término Vida Útil	Focos
TNL2-SEL	51	1847,34	04.10.2010	Aislamiento	Contactador de Compresor
TNL2-SEL	0,5	44,78	14.04.2014	Término de Vida Útil	Baterías
TNL2-SEL	1	218,05	27.10.2011	Quemado por Cortocircuito	Diodo Zener
TNL2-SEL	0	5847,3	22.07.2014	Aislamiento	Braker de Motor 1
TNL2-SFR	2	136,84	28.01.2011	Trabado	Pistón de Electroválvula de Freno

TNL2-SFR	0	151,74	22.02.2011	Término de Vida Útil	Zapatás
TNL2-SFR	4	625,2	20.06.2012	Término de Vida Útil	Zapatás
TNL2-SPO	4,5	273,68	06.07.2010	Mal Diseño	Empaquetadura de Escape
TNL2-SPO	7,17	547,36	27.08.2010	Mal Diseño	Empaquetadura de Escape
TNL2-SPO	6,5	615,78	04.10.2010	Fuga	Escape
TNL2-SPO	26	3503,38	07.07.2011	Término de Vida Útil	Aceite y Filtro de Aceite Motor
TNL2-SPO	30	2477,82	12.08.2011	Término de Vida Útil	Aceite y Filtro de Aceite Motor
TNL2-SPO	1	377,86	10.07.2013	Término de Vida Útil	Filtro de Aire
TNL2-SPO	2	476,32	17.02.2014	Término de Vida Útil	Filtro de Aire
TNL2-SPO	4,25		09.07.2014	Término de Vida Útil	Catalizador
TNL2-SPO	78	1880,76	21.03.2014	Término de Vida Útil	Mangueras de Escape
TNL2-SPO	0,5	44,78	09.07.2014	Término de Vida Útil	Mangueras de Escape
TNL2-SPO	23	1705,15	09.07.2014	Término de Vida Útil	Mangueras de Escape
TNL2-SPO	5	1077,12	02.08.2012	Término de Vida Útil	Mangueras de Escape
TNL2-SRE	1	426,48	30.07.2012	Término de Vida Útil	Anticongelante Motor
TNL2-SRO	79,5	4353,6	11.04.2013	Trabado	Inversor de Marcha
TNL2-SRO	13,5	1632,6	15.04.2013	Trabado	Inversor de Marcha

*Tabla 43 Historial de fallas de locomotora 662, enero de 2010 a junio de 2014.*

**ANEXO III: Listado de avisos de mantenimiento preventivo de locomotoras “NREC – 2GS-16B” 661 y 662.**

**Locomotora 661:**

La tabla N°46 muestra los avisos de mantenimiento preventivo utilizados para la obtención del indicador MTTR, en el rango de tiempo desde enero de 2013 a mayo de 2014.

Aviso	Descripción	Creado el	Cl.	Ubic.téc.	DurParada
16834301	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	23.01.2013	M3	TNL1	1
16834304	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	23.01.2013	M3	TNL1	1
16834305	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	23.01.2013	M3	TNL1	1
16834306	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	23.01.2013	M3	TNL1	1
16871886	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	13.02.2013	M3	TNL1	1
16871887	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	13.02.2013	M3	TNL1	1
16880022	MANTTO. 90 Hrs. LOCO NREC2GS-1GB # 661	19.02.2013	M3	TNL1	20
16880023	MANT. 180 Hrs.LOCO NREC2GS-1GB # 661	19.02.2013	M3	TNL1	55
16891851	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	26.02.2013	M3	TNL1	1
16896485	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	28.02.2013	M3	TNL1	1
16896486	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	28.02.2013	M3	TNL1	1
16903857	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	04.03.2013	M3	TNL1	1
16903858	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	04.03.2013	M3	TNL1	1
16903859	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	04.03.2013	M3	TNL1	1
16903860	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	04.03.2013	M3	TNL1	1
16904102	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	04.03.2013	M3	TNL1	1
16923506	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	15.03.2013	M3	TNL1	1
16930435	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	20.03.2013	M3	TNL1	1
16930436	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	20.03.2013	M3	TNL1	1
16930439	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	20.03.2013	M3	TNL1	1
16930440	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	20.03.2013	M3	TNL1	1
16930631	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	20.03.2013	M3	TNL1	1
16947883	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	27.03.2013	M3	TNL1	1
16964961	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	05.04.2013	M3	TNL1	1
16968477	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	08.04.2013	M3	TNL1	1
16968479	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	08.04.2013	M3	TNL1	1
16978581	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	15.04.2013	M3	TNL1	1
16978582	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	15.04.2013	M3	TNL1	1
16980152	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	16.04.2013	M3	TNL1	1

16980153	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	16.04.2013	M3	TNL1	1
16980157	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	16.04.2013	M3	TNL1	1
16980161	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	16.04.2013	M3	TNL1	1
17030880	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	13.05.2013	M3	TNL1	1
17030892	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	13.05.2013	M3	TNL1	1
17030896	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	13.05.2013	M3	TNL1	1
17031795	MANTTO. 90 Hrs. LOCO NREC2GS-1GB # 661	14.05.2013	M3	TNL1	4
17069818	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	03.06.2013	M3	TNL1	1
17069882	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	03.06.2013	M3	TNL1	1
17069883	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	03.06.2013	M3	TNL1	1
17069884	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	03.06.2013	M3	TNL1	1
17071522	MANT. 720 Hrs.LOCO NREC2GS-1GB # 661	04.06.2013	M3	TNL1	32
17100998	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	19.06.2013	M3	TNL1	1
17100999	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	19.06.2013	M3	TNL1	1
17101000	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	19.06.2013	M3	TNL1	1
17101011	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	19.06.2013	M3	TNL1	1
17101012	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	19.06.2013	M3	TNL1	1
17101013	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	19.06.2013	M3	TNL1	1
17101141	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	19.06.2013	M3	TNL1	1
17101142	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	19.06.2013	M3	TNL1	1
17101143	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	19.06.2013	M3	TNL1	1
17101144	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	19.06.2013	M3	TNL1	1
17101147	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	19.06.2013	M3	TNL1	1
17101148	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	19.06.2013	M3	TNL1	1
17164686	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	22.07.2013	M3	TNL1	1
17164687	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	22.07.2013	M3	TNL1	1
17164690	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	22.07.2013	M3	TNL1	1
17164701	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	22.07.2013	M3	TNL1	1
17164706	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	22.07.2013	M3	TNL1	1
17164707	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	22.07.2013	M3	TNL1	1
17204223	MANT. 180 Hrs.LOCO NREC2GS-1GB # 661	09.08.2013	M3	TNL1	3
17215096	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	16.08.2013	M3	TNL1	1
17295022	MANT. 1440 Hrs.LOCO NREC2GS-1GB # 661	26.09.2013	M3	TNL1	52
17295490	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	26.09.2013	M3	TNL1	1
17295532	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	26.09.2013	M3	TNL1	1
17295536	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	26.09.2013	M3	TNL1	1
17295538	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	26.09.2013	M3	TNL1	1
17295539	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	26.09.2013	M3	TNL1	1
17295541	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	26.09.2013	M3	TNL1	1
17295543	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	26.09.2013	M3	TNL1	2,17
17295544	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	26.09.2013	M3	TNL1	1,17

17315878	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	03.10.2013	M3	TNL1	1
17328720	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	09.10.2013	M3	TNL1	1
17328731	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	09.10.2013	M3	TNL1	1
17328734	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	09.10.2013	M3	TNL1	1
17328735	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	09.10.2013	M3	TNL1	1
17330832	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	10.10.2013	M3	TNL1	1
17330833	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	10.10.2013	M3	TNL1	1
17330834	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	10.10.2013	M3	TNL1	1
17330837	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	10.10.2013	M3	TNL1	1
17330839	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	10.10.2013	M3	TNL1	1
17330852	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	10.10.2013	M3	TNL1	2
17402250	MANT. 5760 Hrs.LOCO NREC2GS-1GB # 661	12.11.2013	M3	TNL1	116
17407117	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	14.11.2013	M3	TNL1	3
17407119	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	14.11.2013	M3	TNL1	1
17407142	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	14.11.2013	M3	TNL1	2
17407143	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	14.11.2013	M3	TNL1	1
17407144	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	14.11.2013	M3	TNL1	1
17407145	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	14.11.2013	M3	TNL1	1
17407146	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	14.11.2013	M3	TNL1	1
17407147	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	14.11.2013	M3	TNL1	1
17407148	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	14.11.2013	M3	TNL1	1
17407149	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	14.11.2013	M3	TNL1	1
17407150	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	14.11.2013	M3	TNL1	1
17407151	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	14.11.2013	M3	TNL1	1
17450105	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	04.12.2013	M3	TNL1	1
17450106	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	04.12.2013	M3	TNL1	1
17450108	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	04.12.2013	M3	TNL1	1
17450109	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	04.12.2013	M3	TNL1	1
17450110	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	04.12.2013	M3	TNL1	1
17450111	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	04.12.2013	M3	TNL1	1
17450113	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	04.12.2013	M3	TNL1	2,00
17450117	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	04.12.2013	M3	TNL1	1
17450118	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	04.12.2013	M3	TNL1	1
17450119	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	04.12.2013	M3	TNL1	1
17451249	MANTTO. 90 Hrs. LOCO NREC2GS-1GB # 661	04.12.2013	M3	TNL1	21
17451250	MANT. 180 Hrs.LOCO NREC2GS-1GB # 661	04.12.2013	M3	TNL1	54
17547854	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	22.01.2014	M3	TNL1	1
17547855	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	22.01.2014	M3	TNL1	1
17547856	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	22.01.2014	M3	TNL1	1
17547857	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	22.01.2014	M3	TNL1	1
17547858	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	22.01.2014	M3	TNL1	1

17547859	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	22.01.2014	M3	TNL1	1
17547860	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	22.01.2014	M3	TNL1	1
17573645	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	03.02.2014	M3	TNL1	1
17573647	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	03.02.2014	M3	TNL1	1
17582232	MANTTO. 90 Hrs. LOCO NREC2GS-1GB # 661	06.02.2014	M3	TNL1	6
17599338	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	14.02.2014	M3	TNL1	1
17611068	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	21.02.2014	M3	TNL1	1
17611069	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	21.02.2014	M3	TNL1	1
17611070	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	21.02.2014	M3	TNL1	1
17611081	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	21.02.2014	M3	TNL1	1
17631481	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	03.03.2014	M3	TNL1	1
17631485	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	03.03.2014	M3	TNL1	1
17631486	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	03.03.2014	M3	TNL1	2
17631487	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	03.03.2014	M3	TNL1	4
17631489	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	03.03.2014	M3	TNL1	1
17631501	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	03.03.2014	M3	TNL1	1
17670238	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	19.03.2014	M3	TNL1	1
17670239	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	19.03.2014	M3	TNL1	1
17670240	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	19.03.2014	M3	TNL1	1
17670342	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	19.03.2014	M3	TNL1	1
17670343	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	19.03.2014	M3	TNL1	1
17670344	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	19.03.2014	M3	TNL1	1
17685091	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	25.03.2014	M3	TNL1	2
17685093	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	25.03.2014	M3	TNL1	1
17685095	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	25.03.2014	M3	TNL1	1
17758723	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	17.04.2014	M3	TNL1	1
17758725	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	17.04.2014	M3	TNL1	2
17758728	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	17.04.2014	M3	TNL1	1
17758729	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	17.04.2014	M3	TNL1	1
17758732	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	17.04.2014	M3	TNL1	1
17782750	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	28.04.2014	M3	TNL1	1
17782771	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	28.04.2014	M3	TNL1	1
17782776	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	28.04.2014	M3	TNL1	1
17782777	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	28.04.2014	M3	TNL1	1
17814739	MANT. 180 Hrs.LOCO NREC2GS-1GB # 661	13.05.2014	M3	TNL1	54
17844135	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	23.05.2014	M3	TNL1	1
17844137	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #661	23.05.2014	M3	TNL1	1,5

*Tabla 44 Avisos de mantenimiento preventivo de locomotora 661, enero de 2013 a mayo de 2014.*

La tabla N°47 muestra los avisos de mantenimiento correctivo (fallas) utilizados para la obtención del indicador MTBF, en el rango de tiempo desde enero de 2013 a mayo de 2014.

UBICACIÓN TÉCNICA	DURACIÓN	COSTO	INICIO AVERÍA	MODO DE FALLA	PORTE PIEZA ELEMENTO
TNL1-ATP	22,00	755,62	20.02.2014	Término de Vida Útil	Batería ATP
TNL1-SCC	3,00	1797,48	05.04.2013	Quemado por Cortocircuito	Panel NFORCE
TNL1-SCC	0,50	45,35	12.12.2013	Término de Vida Útil	Selector de Freno de Aparcamiento
TNL1-SEL	1,00	227,58	06.03.2014	Golpe o Término de Vida Útil	Focos
TNL1-SEL	6,00	5404,20	11.02.2014	Aislamiento	Contactador de Compresor
TNL1-SEL	6,00	634,49	20.02.2014	Aislamiento	Contactador de Compresor
TNL1-SEL	31,00	1269,80	13.08.2013	Término de Vida Útil	Baterías
TNL1-SEL	6,00	268,68	26.05.2014	Término de Vida Útil	Baterías
TNL1-SEL	6,00	4127,07	27.05.2014	Término de Vida Útil	Baterías
TNL1-SFR	8,00	725,60	05.07.2013	Asiento de Válvula Humedecido	Válvula de Freno
TNL1-SPO	2,00	294,92	10.07.2013	Término de Vida Útil	Filtro de Aire
TNL1-SPO	4,00	358,24	21.04.2014	Término de Vida Útil	Mangueras de Escape
TNL1-SRO	24,00	725,60	11.11.2013	Trabado	Inversor de Marcha

*Tabla 45 Avisos de mantenimiento correctivo (fallas) de locomotora 661, enero de 2013 a mayo de 2014.*

### **Locomotora 662:**

La tabla N°48 muestra los avisos de mantenimiento preventivo utilizados para la obtención del indicador MTTR, en el rango de tiempo desde enero de 2013 a mayo de 2014.

Aviso	Descripción	Creado el	Cl.	Ubic.téc.	DurParada
16834307	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	23.01.2013	M3	TNL2	1
16834308	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	23.01.2013	M3	TNL2	1
16834321	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	23.01.2013	M3	TNL2	1,02
16834322	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	23.01.2013	M3	TNL2	1
16834323	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	23.01.2013	M3	TNL2	1
16862973	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	07.02.2013	M3	TNL2	1

16862974	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	07.02.2013	M3	TNL2	1
16862975	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	07.02.2013	M3	TNL2	1
16871889	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	13.02.2013	M3	TNL2	1
16871891	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	13.02.2013	M3	TNL2	1
16871892	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	13.02.2013	M3	TNL2	1
16880024	MANTTO. 90 Hrs. LOCO NREC2GS-1GB # 662	19.02.2013	M3	TNL2	30
16880025	MANT. 180 Hrs.LOCO NREC2GS-1GB # 662	19.02.2013	M3	TNL2	51
16894755	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	27.02.2013	M3	TNL2	1
16904104	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	04.03.2013	M3	TNL2	1
16904105	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	04.03.2013	M3	TNL2	1
16904106	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	04.03.2013	M3	TNL2	1
16904107	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	04.03.2013	M3	TNL2	1
16923507	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	15.03.2013	M3	TNL2	1
16923508	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	15.03.2013	M3	TNL2	1
16923510	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	15.03.2013	M3	TNL2	1
16930632	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	20.03.2013	M3	TNL2	1
16930636	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	20.03.2013	M3	TNL2	1
16930638	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	20.03.2013	M3	TNL2	1
16947885	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	27.03.2013	M3	TNL2	1
16947886	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	27.03.2013	M3	TNL2	1
16947887	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	27.03.2013	M3	TNL2	1
16964962	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	05.04.2013	M3	TNL2	1
16968572	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	08.04.2013	M3	TNL2	1
16968575	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	08.04.2013	M3	TNL2	1
16968577	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	08.04.2013	M3	TNL2	1
16968578	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	08.04.2013	M3	TNL2	1
16980166	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	16.04.2013	M3	TNL2	1
16980168	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	16.04.2013	M3	TNL2	1
16980174	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	16.04.2013	M3	TNL2	1
16980179	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	16.04.2013	M3	TNL2	1
17030899	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	13.05.2013	M3	TNL2	1
17030900	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	13.05.2013	M3	TNL2	1
17030914	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	13.05.2013	M3	TNL2	1
17030915	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	13.05.2013	M3	TNL2	1
17049734	MANTTO. 90 Hrs. LOCO NREC2GS-1GB # 662	24.05.2013	M3	TNL2	2
17069890	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	03.06.2013	M3	TNL2	1
17069903	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	03.06.2013	M3	TNL2	1
17101014	MANT. 720 Hrs.LOCO NREC2GS-1GB # 662	19.06.2013	M3	TNL2	70
17101016	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	19.06.2013	M3	TNL2	1
17101017	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	19.06.2013	M3	TNL2	1
17101018	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	19.06.2013	M3	TNL2	1

17101019	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	19.06.2013	M3	TNL2	1
17101131	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	19.06.2013	M3	TNL2	1
17101132	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	19.06.2013	M3	TNL2	1
17101134	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	19.06.2013	M3	TNL2	1
17101137	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	19.06.2013	M3	TNL2	1
17101140	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	19.06.2013	M3	TNL2	1
17164712	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	22.07.2013	M3	TNL2	1
17164713	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	22.07.2013	M3	TNL2	1
17164714	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	22.07.2013	M3	TNL2	1
17164718	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	22.07.2013	M3	TNL2	1
17164719	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	22.07.2013	M3	TNL2	1
17164720	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	22.07.2013	M3	TNL2	1
17164723	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	22.07.2013	M3	TNL2	1
17164724	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	22.07.2013	M3	TNL2	1
17164725	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	22.07.2013	M3	TNL2	1
17164726	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	22.07.2013	M3	TNL2	1
17204192	MANT. 180 Hrs.LOCO NREC2GS-1GB # 662	09.08.2013	M3	TNL2	2,5
17215100	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	16.08.2013	M3	TNL2	1
17215111	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	16.08.2013	M3	TNL2	1
17215112	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	16.08.2013	M3	TNL2	1
17215118	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	16.08.2013	M3	TNL2	1
17215119	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	16.08.2013	M3	TNL2	1
17215120	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	16.08.2013	M3	TNL2	1
17215133	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	16.08.2013	M3	TNL2	1
17295549	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	26.09.2013	M3	TNL2	1
17295722	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	26.09.2013	M3	TNL2	1
17295727	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	26.09.2013	M3	TNL2	1
17295741	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	26.09.2013	M3	TNL2	1
17295742	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	26.09.2013	M3	TNL2	1
17328738	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	09.10.2013	M3	TNL2	1,33
17328739	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	09.10.2013	M3	TNL2	1
17328740	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	09.10.2013	M3	TNL2	1
17330799	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	10.10.2013	M3	TNL2	1,67
17330823	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	10.10.2013	M3	TNL2	1
17330825	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	10.10.2013	M3	TNL2	1
17330826	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	10.10.2013	M3	TNL2	1
17330828	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	10.10.2013	M3	TNL2	1
17330830	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	10.10.2013	M3	TNL2	1
17330831	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	10.10.2013	M3	TNL2	2
17402165	MANT. 5760 Hrs.LOCO NREC2GS-1GB # 662	12.11.2013	M3	TNL2	154
17407156	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	14.11.2013	M3	TNL2	0,99

17407157	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	14.11.2013	M3	TNL2	1
17407159	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	14.11.2013	M3	TNL2	4
17407160	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	14.11.2013	M3	TNL2	1
17407161	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	14.11.2013	M3	TNL2	1
17407165	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	14.11.2013	M3	TNL2	1
17407166	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	14.11.2013	M3	TNL2	1
17407167	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	14.11.2013	M3	TNL2	1
17407169	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	14.11.2013	M3	TNL2	1
17407170	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	14.11.2013	M3	TNL2	1
17450130	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	04.12.2013	M3	TNL2	1
17450153	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	04.12.2013	M3	TNL2	1
17450155	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	04.12.2013	M3	TNL2	1
17450156	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	04.12.2013	M3	TNL2	1
17450157	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	04.12.2013	M3	TNL2	1
17450158	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	04.12.2013	M3	TNL2	1
17450162	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	04.12.2013	M3	TNL2	1
17450163	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	04.12.2013	M3	TNL2	1
17450164	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	04.12.2013	M3	TNL2	1
17483480	MANT. 180 Hrs.LOCO NREC2GS-1GB # 662	23.12.2013	M3	TNL2	2,5
17547881	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	22.01.2014	M3	TNL2	1
17547883	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	22.01.2014	M3	TNL2	1
17547884	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	22.01.2014	M3	TNL2	1
17547885	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	22.01.2014	M3	TNL2	1
17547886	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	22.01.2014	M3	TNL2	1
17547887	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	22.01.2014	M3	TNL2	1
17547888	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	22.01.2014	M3	TNL2	1
17573648	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	03.02.2014	M3	TNL2	1
17573649	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	03.02.2014	M3	TNL2	1
17582175	MANTTO. 90 Hrs. LOCO NREC2GS-1GB # 662	06.02.2014	M3	TNL2	6
17596538	MANT. 180 Hrs.LOCO NREC2GS-1GB # 662	13.02.2014	M3	TNL2	5,7
17611084	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	21.02.2014	M3	TNL2	1
17611085	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	21.02.2014	M3	TNL2	1
17611086	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	21.02.2014	M3	TNL2	1
17611087	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	21.02.2014	M3	TNL2	1
17611088	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	21.02.2014	M3	TNL2	1
17611089	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	21.02.2014	M3	TNL2	1
17631482	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	03.03.2014	M3	TNL2	1
17631483	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	03.03.2014	M3	TNL2	1
17631504	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	03.03.2014	M3	TNL2	1
17631508	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	03.03.2014	M3	TNL2	1
17631510	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	03.03.2014	M3	TNL2	1

17670346	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	19.03.2014	M3	TNL2	1
17670347	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	19.03.2014	M3	TNL2	1
17670348	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	19.03.2014	M3	TNL2	1
17670351	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	19.03.2014	M3	TNL2	1
17670352	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	19.03.2014	M3	TNL2	1
17685099	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	25.03.2014	M3	TNL2	1
17685100	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	25.03.2014	M3	TNL2	1
17685101	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	25.03.2014	M3	TNL2	1
17685102	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	25.03.2014	M3	TNL2	1
17685103	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	25.03.2014	M3	TNL2	1
17685105	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	25.03.2014	M3	TNL2	1
17758733	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	17.04.2014	M3	TNL2	1
17758735	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	17.04.2014	M3	TNL2	1
17758741	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	17.04.2014	M3	TNL2	1
17782778	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	28.04.2014	M3	TNL2	1
17782781	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	28.04.2014	M3	TNL2	1
17782782	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	28.04.2014	M3	TNL2	1
17782783	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	28.04.2014	M3	TNL2	2
17820774	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	16.05.2014	M3	TNL2	2
17820780	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	16.05.2014	M3	TNL2	1
17844203	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	23.05.2014	M3	TNL2	2,75
17844205	MANT. DIARIA LOCO NREC2GS-1GB #662	23.05.2014	M3	TNL2	1

*Tabla 46 Avisos mantenimiento preventivo de locomotora 662, enero de 2013 a mayo de 2014.*

La tabla N°49 muestra los avisos de mantenimiento correctivo (fallas) utilizados para la obtención del indicador MTBF, en el rango de tiempo desde enero de 2013 a mayo de 2014.

UBICACIÓN TÉCNICA	DURACIÓN	COSTO	INICIO AVERÍA	MODO DE FALLA	PARTE PIEZA ELEMENTO
TNL2-ATP	1,25	6678,42	04.01.2013	Golpe	Antena ATP
TNL2-SCC	4,00	1797,48	05.04.2013	Quemado por Cortocircuito	Panel NFORCE
TNL2-SCC	1,00	90,70	29.11.2013	Término de Vida Útil	Selector de Velocidad
TNL2-SCO	2,00	272,10	16.08.2013	Asiento de Válvula Humedecido	Válvula de Freno
TNL2-SEL	0,50	44,78	14.04.2014	Término de Vida Útil	Baterías
TNL2-SPO	1,00	377,86	10.07.2013	Término de Vida Útil	Filtro de Aire

TNL2-SPO	2,00	476,32	17.02.2014	Término de Vida Útil	Filtro de Aire
TNL2-SPO	78,00	1880,76	21.03.2014	Término de Vida Útil	Mangueras de Escape
TNL2-SRO	79,50	4353,60	11.04.2013	Trabado	Inversor de Marcha
TNL2-SRO	13,50	1632,60	15.04.2013	Trabado	Inversor de Marcha

*Tabla 47 Avisos de mantenimiento correctivo (fallas) de locomotora 662, enero de 2013 a mayo de 2014.*

#### **ANEXO IV: Planes de mantenimiento y cargas de trabajo teórica de otros equipos de servicio y apoyo a la producción.**

Los equipos de servicio y apoyo a la producción, de Maestranza 1 Colón Alto, pertenecientes a la Unidad Ferrocarril Teniente 8, se pueden dividir en locomotoras de servicio y equipos de mantención vía.

Las locomotoras de servicio están destinadas a diversas labores como el traslado de equipos no motorizados ya sea carros metaleros, planos, de servicio o de pasajeros, limpiavías, barrenieve, etc. Tanto en superficie como en Interior Mina. En total se cuenta con 7 locomotoras de servicio cada una de ellas se designa con un número y se distribuyen en 3 grupos o familias (#654-#655, #661-#662<sup>19</sup> y #663-#664-#665).

Se presentan a continuación los planes de mantenimiento de cada una, con sus respectivas pautas y duraciones, de acuerdo a la información existente en el sistema SAP. Esta información, como se observó anteriormente en el capítulo IV contiene algunos errores, los cuales se indican y corrigen.

---

<sup>19</sup> No se incluyen en este anexo ya que fueron estudiadas de manera particular en los capítulos IV y V de la presente memoria de título.

## Locomotoras “GM EMD – SW1200” (#654 y #655)

Son locomotoras diesel-eléctricas del fabricante americano General Motors Electro-Motive Division. La figura 42 muestra la locomotora 655.



Fig. 42 Locomotora #655 en línea #14 Maestranza 1, Colón Alto. Mayo de 2014.

La tabla N°50 muestra la carga de trabajo teórica correspondiente al plan de mantenimiento actual, obtenido desde SAP.

Plan de Mantenimiento	Frecuencia	Especialidad	N° de Trabajadores	Duración (Teórica)	Total HH (Teóricas)
654: 81392 655: 17162	Quincenal	Mecánica	2	16	32
		Eléctrica	2	18	36

Tabla 48 Carga de trabajo teórica correspondiente a plan de mantenimiento creado en el software SAP para las locomotoras “GM EMD – SW1200” #654 y #655.

Estas locomotoras son las más antiguas que aún se encuentran en operación. De acuerdo a las labores que contiene el plan de mantenencias de estos equipos, la tabla N°51 representa la corrección a la carga de trabajo teórica.

<b>Plan de Mantenimiento</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>N° de Trabajadores</b>	<b>Duración</b>	<b>Total HH</b>
<b>654:</b> 81392 <b>655:</b> 17162	Quincenal	2	8	16

*Tabla 49 Carga de trabajo teórica corregida de las locomotoras “GM EMD – SW1200” #654 y #655.*

La razón de poseer un plan quincenal y no basado en el horómetro del motor, es que por su antigüedad estas locomotoras están destinadas a movimientos menores o de reemplazo en casos donde no hay disponibilidad de otros equipos o se encuentran en mantenimiento planificado.

### **Locomotoras “Schalke – Servicelokomotiven Codelco” (#663, #664 y #665)**

Son locomotoras diesel-eléctricas del fabricante alemán Schalke. El mantenimiento de estos equipos se realiza en base al horómetro de motor. La figura 43 muestra a la locomotora 665 en mantenimiento preventivo.



**Fig. 43** Mantenimiento de locomotora #665 en línea #11 Maestranza 1, Colón Alto. Mayo de 2014.

La tabla N°52 muestra la carga de trabajo teórica correspondiente al plan de mantenimiento actual, obtenido desde SAP.

<b>Plan de Mantenimiento</b>	<b>Frecuencia (Horómetro)</b>	<b>N° de Trabajadores</b>	<b>Duración (Teórica)</b>	<b>Total HH (Teóricas)</b>
<b>663:</b> 101837 <b>664:</b> 101838 <b>665:</b> 101839	250	2	6,3	12,6
	500	2	7,8	15,6
	1000	2	9,2	18,4
	2000	3	8,23	24,69
	4000	4	87	348

*Tabla 50 Carga de trabajo teórica correspondiente a plan de mantenimiento creado en el software SAP para las locomotoras "Schalke – Servicelokomotiven Codelco" #663, #664 y #665.*

No se observan errores en el número de mantenedores, pero si en la duración de las actividades. La tabla N°53 representa la corrección a la carga de trabajo teórica.

<b>Plan de Mantenimiento</b>	<b>Frecuencia (Horómetro Motor)</b>	<b>N° de Trabajadores</b>	<b>Duración</b>	<b>Total HH</b>
<b>663:</b> 101837 <b>664:</b> 101838 <b>665:</b> 101839	250	2	8	16
	500	2	16	32
	1000	3	16	48
	2000	3	16	48
	4000	4	24	96

*Tabla 51 Carga de trabajo teórica corregida de las locomotoras "Schalke – Servicelokomotiven Codelco" #663, #664 y #665.*

Las pautas de 2000 y 4000 hrs. aún no se realizan, ya que ambas locomotoras aún no llegan a esa cantidad de horas en funcionamiento.

Los equipos de mantención vía, están destinados a labores como aspiración, renovación y compactación del balasto, limpieza de las vías, inspección ultrasonido de rieles, corrección de geometría, peraltes, etc.

Se presentan a continuación los planes de mantenimiento de cada uno, con sus respectivas pautas y duraciones, de acuerdo a la información existente en el sistema SAP. Esta información, como se observó anteriormente en el capítulo IV contiene algunos errores, los cuales se indican y corrigen.

#### **Bateadora “Plasser&Theurer – 08-275 SP”**

Equipo diesel del fabricante austriaco Plasser&Theurer, destinado a labores de compactación de balasto. El mantenimiento de estos equipos se realiza en base a las horas de uso registradas por el horómetro del motor. La figura 44 muestra mantenimiento del balasto en interior mina.



*Fig. 44 Mantenimiento de compactación de balasto en línea de producción, Mina El Teniente. Febrero de 2014.*

La tabla N°54 muestra la carga de trabajo teórica correspondiente al plan de mantenimiento actual, obtenido desde SAP.

<b>Plan de Mantenimiento</b>	<b>Frecuencia (Horómetro)</b>	<b>N° de Trabajadores</b>	<b>Duración (Teórica)</b>	<b>Total HH (Teóricas)</b>
83313	125	1	1	1
	250	1	1	1
	500	1	1	1
	1000	4	32	128

*Tabla 52 Carga de trabajo teórica correspondiente a plan de mantenimiento creado en el software SAP para la bateadora "Plasser&Theurer – 08-275 SP".*

Se observan errores tanto para el número de mantenedores como la duración de las labores. La tabla N°55 representa la corrección a la carga de trabajo teórica.

<b>Plan de Mantenimiento</b>	<b>Frecuencia (Horómetro Motor)</b>	<b>N° de Trabajadores</b>	<b>Duración</b>	<b>Total HH</b>
83313	125	2	8	16
	250	2	16	32
	500	3	16	48
	1000	4	32	128

*Tabla 53 Carga de trabajo teórica corregida de la bateadora "Plasser&Theurer – 08-275 SP".*

## Aspirador de balasto “Plasser&Theurer – VM 250 S Jumbo”

Equipo diesel del fabricante austriaco Plasser&Theurer, destinado a las labores de aspiración y renovación de balasto. El mantenimiento de estos equipos se realiza en base a las horas de funcionamiento registradas en el horómetro del motor. Las figuras 45 y 46 muestran el aspirador de balasto foto panorámica y de los ductos de aspiración respectivamente.



*Fig. 45 Foto panorámica del aspirador de balasto “Plasser&Theurer – VM 250 S Jumbo”. Febrero de 2014.*



*Fig. 46 Ductos de aspiración del balasto contaminado “Plasser&Theurer – VM 250 S Jumbo”. Febrero de 2014.*

La tabla N°56 muestra la carga de trabajo teórica correspondiente al plan de mantenimiento actual, obtenido desde SAP.

<b>Plan de Mantenimiento</b>	<b>Frecuencia (Horómetro)</b>	<b>N° de Trabajadores</b>	<b>Duración (Teórica)</b>	<b>Total HH (Teóricas)</b>
84227	125	1	1	1
	250	3	16	48
	500	3	24	72
	1000	4	32	128
	2000	4	0,3	1,2

*Tabla 54 Carga de trabajo teórica correspondiente a plan de mantenimiento creado en el software SAP para el aspirador de balasto "Plasser&Theurer – VM 250 S Jumbo".*

Se observan errores tanto para el número de mantenedores como la duración de las labores. La tabla N°57 representa la corrección a la carga de trabajo teórica.

<b>Plan de Mantenimiento</b>	<b>Frecuencia (Horómetro Motor)</b>	<b>N° de Trabajadores</b>	<b>Duración</b>	<b>Total HH</b>
84227	125	2	8	16
	250	3	16	48
	500	4	16	64
	1000	4	32	128
	2000	4	32	128

*Tabla 55 Carga de trabajo teórica corregida del aspirador de balasto "Plasser&Theurer – VM 250 S Jumbo".*

## **Vehículo ultrasonido de inspección vía “Sperry – 950 Series”**

Equipo de origen americano en base a un camión Ford modificado por la empresa SperryRail Services, destinado a labores de inspección ultrasonido de los rieles, donde es capaz de detectar pequeñas fisuras, errores en la geometría, en los peraltes, etc. Muy importante para la infraestructura de todo el nivel ferroviario. Posee un motor diesel y sus sistemas son altamente electrónicos y computacionales. La figura 47 muestra este equipo en mantenimiento preventivo.



*Fig. 47 Mantenimiento de vehículo ultrasonido de inspección vía “Sperry - 950 Series” en línea #11 Maestranza 1, Colón Alto. Mayo de 2014.*

Como básicamente es un camión dispone de alta disponibilidad y confiabilidad. El plan de mantenimiento de este equipo contiene sólo una pauta con frecuencia cada 250 horas, según el horómetro del motor. En cuanto a la carga de trabajo, no se detectaron errores de información en el sistema SAP. El resumen de esta se muestra en la tabla N°58.

<b>Plan de Mantenimiento</b>	<b>Frecuencia (Horómetro)</b>	<b>N° de Trabajadores</b>	<b>Duración (Teórica)</b>	<b>Total HH (Teóricas)</b>
96658	250	2	8	16

*Tabla 56 Carga de trabajo teórica correspondiente a plan de mantenimiento creado en el software SAP para el vehículo de inspección vía “Sperry – 950 Series”.*

### **Limpiavías “Rockloader Chesta”**

Es un equipo diesel, no autopulsado, fabricado por la empresa Chesta Ingeniería, destinado a labores de limpieza de vías, específicamente remueve las rocas que caen de los carros de producción en el proceso de transporte y a través de una cinta transportadora las va vaciando en un carro de acopio que va acoplado a su parte trasera. Su traslado requiere la disponibilidad de una locomotora de servicio. La figura 48 muestra al limpiavías en mantenimiento preventivo.



*Fig. 48 Mantenimiento de limpiavías #535 en línea #12 Maestranza 1, Colón Alto. Mayo de 2014.*

La tabla N°59 muestra la carga de trabajo teórica correspondiente al plan de mantenimiento actual, obtenido desde SAP.

<b>Plan de Mantenimiento</b>	<b>Frecuencia (Horómetro)</b>	<b>N° de Trabajadores</b>	<b>Duración (Teórica)</b>	<b>Total HH (Teóricas)</b>
95033	250	3	8	24
	500	3	10,6	32
	1000	2	16	32
	3000	2	16	32
	6000	1	32	32

*Tabla 57 Carga de trabajo teórica correspondiente a plan de mantenimiento creado en el software SAP para el limpiavías "Rockloader Chesta".*

Se observan errores tanto para el número de mantenedores como la duración de las labores. La tabla N°60 representa la corrección a la carga de trabajo teórica.

<b>Plan de Mantenimiento</b>	<b>Frecuencia (Horómetro Motor)</b>	<b>N° de Trabajadores</b>	<b>Duración</b>	<b>Total HH</b>
95033	250	2	8	16
	500	2	16	32
	1000	2	16	32
	3000	3	24	72
	6000	4	24	96

*Tabla 58 Carga de trabajo teórica corregida del limpiavías "Rockloader Chesta".*

**ANEXO V: Diagramas de Pareto. Sistemas críticos por frecuencia de fallas de otros equipos de servicio y apoyo a la producción.**

**Locomotoras “GM EMD – SW1200” (#654 y #655)**

La tabla N°61 muestra los sistemas que han presentado fallas a lo largo de todo el uso de las locomotoras 654 y 655, se ordenan de acuerdo a la frecuencia de falla, identificando el porcentaje acumulado y frecuencia acumulada.

Sistema	Frecuencia	% Acumulado	Frecuencia Acumulada
<b>Sistema Potencia</b>	25	29%	25
<b>Sistema Estructural</b>	18	49%	43
<b>Sistema Eléctrico</b>	17	69%	60
<b>Sistema Control y Comando</b>	7	77%	67
<b>Sistema Refrigerante</b>	5	83%	72
<b>Sistema ATP</b>	5	89%	77
<b>Sistema Frenos</b>	4	93%	81
<b>Sistema Rodado</b>	3	97%	84
<b>Sistema Compresión</b>	3	100%	87

87

*Tabla 59 Sistemas críticos por frecuencia de fallas de locomotora “GM EMD – SW1200” #654 y #655.*

Se observa que de acuerdo a la frecuencia de fallas, aproximadamente el 80% de las fallas están comprendidas por los sistemas “Potencia”, “Estructural”, “Eléctrico” y “Control y Comando”.

La figura 49 es un diagrama de Pareto de frecuencia de fallas. Resume la información de la tabla N°61, ubicando cada sistema en el eje de abscisas, frecuencia acumulada en el eje de ordenadas del lado izquierdo y porcentaje acumulado en el eje de ordenadas del lado derecho.

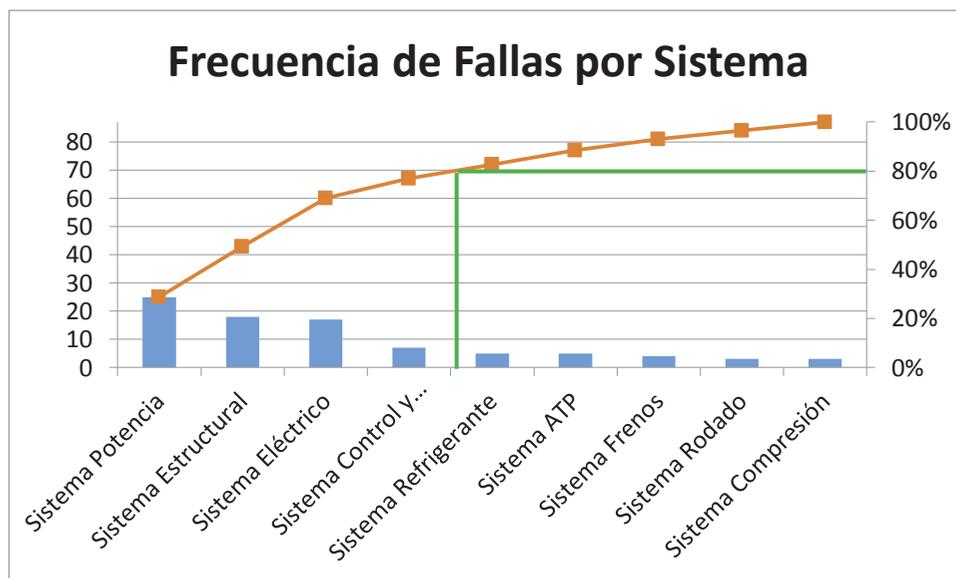


Fig. 49 Diagrama de Pareto: Frecuencia de fallas por sistema de locomotora “GM EMD – SW1200” #654 y #655.

### Locomotoras “Schalke – Servicelokomotiven Codelco” (#663, #664 y #665)

La tabla N°62 muestra los sistemas que han presentado fallas a lo largo de todo el uso de las locomotoras 663, 664 y 665, se ordenan de acuerdo a la frecuencia de falla, identificando el porcentaje acumulado y frecuencia acumulada.

Sistema	Frecuencia	% Acumulado	Frecuencia Acumulada
<b>Sistema Eléctrico</b>	15	38%	15
<b>Sistema Potencia</b>	11	65%	26
<b>Sistema Control y Comando</b>	6	80%	32
<b>Sistema Compresión</b>	4	90%	36
<b>Sistema Estructural</b>	4	100%	40

40

Tabla 60 Sistemas críticos por frecuencia de fallas de locomotora “Schalke – Servicelokomotiven Codelco” #663, #664 y #665.

Se observa que de acuerdo a la frecuencia de fallas, aproximadamente el 80% de las fallas están comprendidas por los sistemas “Eléctrico”, “Potencia” y “Control y Comando”.

La figura 50 es un diagrama de Pareto de frecuencia de fallas. Resume la información de la tabla N°62, ubicando cada sistema en el eje de abscisas, frecuencia acumulada en el eje de ordenadas del lado izquierdo y porcentaje acumulado en el eje de ordenadas del lado derecho.

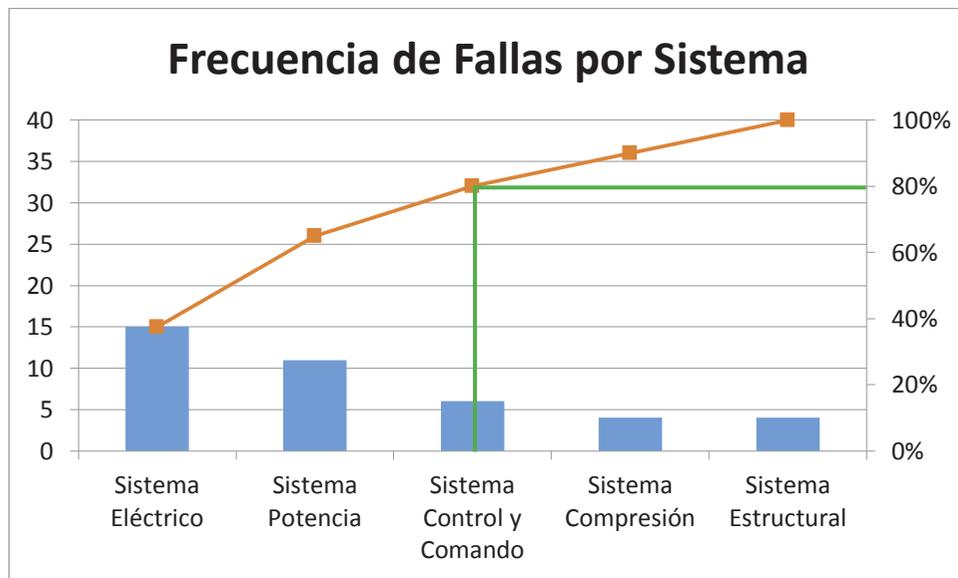


Fig. 50 Diagrama de Pareto: Frecuencia de fallas por sistema de locomotora “GM EMD – SW1200” #663, #664 y #665.

### Bateadora “Plasser&Theurer – 08-275 SP”

La tabla N°63 muestra los sistemas que han presentado fallas a lo largo de todo el uso de la bateadora, se ordenan de acuerdo a la frecuencia de falla, identificando el porcentaje acumulado y frecuencia acumulada.

Sistema	Frecuencia	% Acumulado	Frecuencia Acumulada
Sistema Hidráulico	26	33%	26
Sistema Estructural	16	53%	42
Sistema Eléctrico	13	70%	55
Sistema Motriz	11	84%	66
Sistema Cabinas	8	94%	74
Sistema Transmisión	3	97%	77
Sistema Neumático	2	100%	79

79

Tabla 61 Sistemas críticos por frecuencia de fallas de la bateadora “Plasser&Theurer – 08-275 SP”.

Se observa que de acuerdo a la frecuencia de fallas, aproximadamente el 80% de las fallas están comprendidas por los sistemas “Hidráulico”, “Estructural” y “Eléctrico”.

La figura 51 es un diagrama de Pareto de frecuencia de fallas. Resume la información de la tabla N°63, ubicando cada sistema en el eje de abscisas, frecuencia acumulada en el eje de ordenadas del lado izquierdo y porcentaje acumulado en el eje de ordenadas del lado derecho.

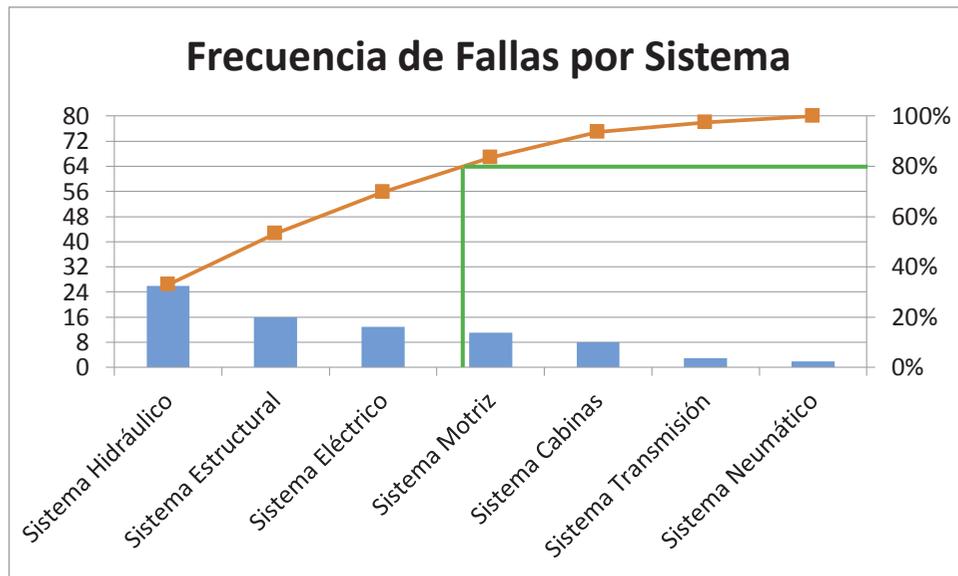


Fig. 51 Diagrama de Pareto: Frecuencia de fallas por sistema de la bateadora “Plasser&Theurer – 08-275 SP”.

## Aspirador de balasto “Plasser&Theurer – VM 250 S Jumbo”

La tabla N°64 muestra los sistemas que han presentado fallas a lo largo de todo el uso del aspirador de balasto, se ordenan de acuerdo a la frecuencia de falla, identificando el porcentaje acumulado y frecuencia acumulada.

Sistema	N° Fallas	Porcentaje Acumulado	Frecuencia Acumulada
Sistema Hidráulico	33	34%	33
Sistema Eléctrico	19	54%	52
Sistema Estructural	13	68%	65
Sistema Aspiración	9	77%	74
Sistema Motriz	8	85%	82
Sistema Compresión	5	91%	87
Sistema Transportador	4	95%	91
Sistema Rodados	3	98%	94
Sistema ATP	2	100%	96

96

Tabla 62 Sistemas críticos por frecuencia de fallas del aspirador de balasto “Plasser&Theurer – VM 250 S Jumbo”.

Se observa que de acuerdo a la frecuencia de fallas, aproximadamente el 80% de las fallas están comprendidas por los sistemas “Hidráulico”, “Eléctrico”, “Estructural” y “Aspiración”.

La figura 52 es un diagrama de Pareto de frecuencia de fallas. Resume la información de la tabla N°64, ubicando cada sistema en el eje de abscisas, frecuencia acumulada en el eje de ordenadas del lado izquierdo y porcentaje acumulado en el eje de ordenadas del lado derecho.

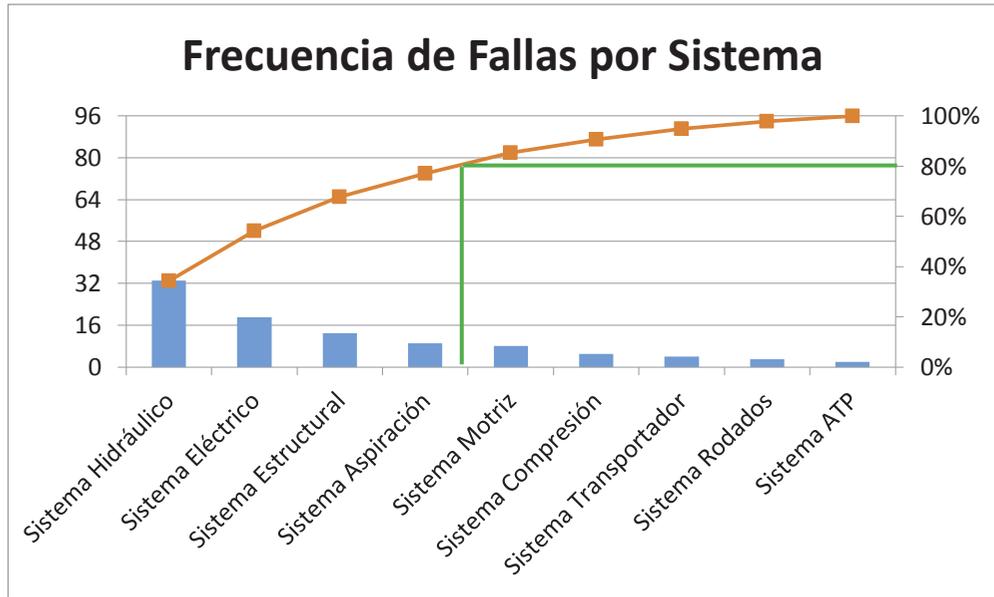


Fig. 52 Diagrama de Pareto: Frecuencia de fallas por sistema del aspirador de balasto “Plasser&Theurer – VM 250 S Jumbo”.

### Vehículo ultrasonido de inspección vía “Sperry – 950 Series”

La tabla N°65 muestra los sistemas que han presentado fallas a lo largo de todo el uso del vehículo ultrasonido de inspección vía, se ordenan de acuerdo a la frecuencia de falla, identificando el porcentaje acumulado y frecuencia acumulada.

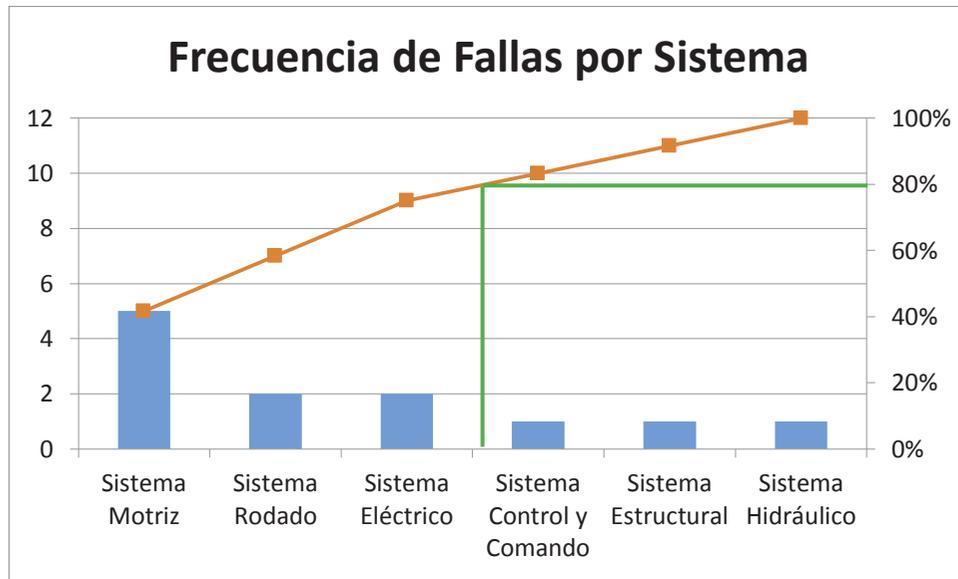
Sistema	N° Fallas	% Acumulado	Frecuencia Relativa
Sistema Motriz	5	42%	5
Sistema Rodado	2	58%	7
Sistema Eléctrico	2	75%	9
Sistema Control y Comando	1	83%	10
Sistema Estructural	1	92%	11
Sistema Hidráulico	1	100%	12

12

Tabla 63 Sistemas críticos por frecuencia de fallas del vehículo ultrasonido de inspección vía “Sperry – 950 Series”.

Se observa que de acuerdo a la frecuencia de fallas, aproximadamente el 80% de las fallas están comprendidas por los sistemas “Motriz”, “Rodado” y “Eléctrico”.

La figura 53 es un diagrama de Pareto de frecuencia de fallas. Resume la información de la tabla N°65, ubicando cada sistema en el eje de abscisas, frecuencia acumulada en el eje de ordenadas del lado izquierdo y porcentaje acumulado en el eje de ordenadas del lado derecho.



*Fig. 53 Diagrama de Pareto: Frecuencia de fallas por sistema del vehículo ultrasonido de inspección vía “Sperry – 950 Series”.*

### Limpiavías “Rockloader Chesta”

La tabla N°66 muestra los sistemas que han presentado fallas a lo largo de todo el uso del limpiavías, se ordenan de acuerdo a la frecuencia de falla, identificando el porcentaje acumulado y frecuencia acumulada.

Sistema	N° Fallas	Porcentaje Acumulado	Frecuencia Acumulada
Sistema Motriz	27	26%	27
Sistema Hidráulico	23	49%	50
Sistema Eléctrico	18	66%	68
Sistema Estructural	18	83%	86
Sistema Rodado	9	92%	95
Sistema Transportador	8	100%	103

103

Tabla 64 Sistemas críticos por frecuencia de fallas del limpiavías “Rockloader Chesta”.

Se observa que de acuerdo a la frecuencia de fallas, aproximadamente el 80% de las fallas están comprendidas por los sistemas “Motriz”, “Hidráulico” y “Eléctrico”.

La figura 54 es un diagrama de Pareto de frecuencia de fallas. Resume la información de la tabla N°66, ubicando cada sistema en el eje de abscisas, frecuencia acumulada en el eje de ordenadas del lado izquierdo y porcentaje acumulado en el eje de ordenadas del lado derecho.

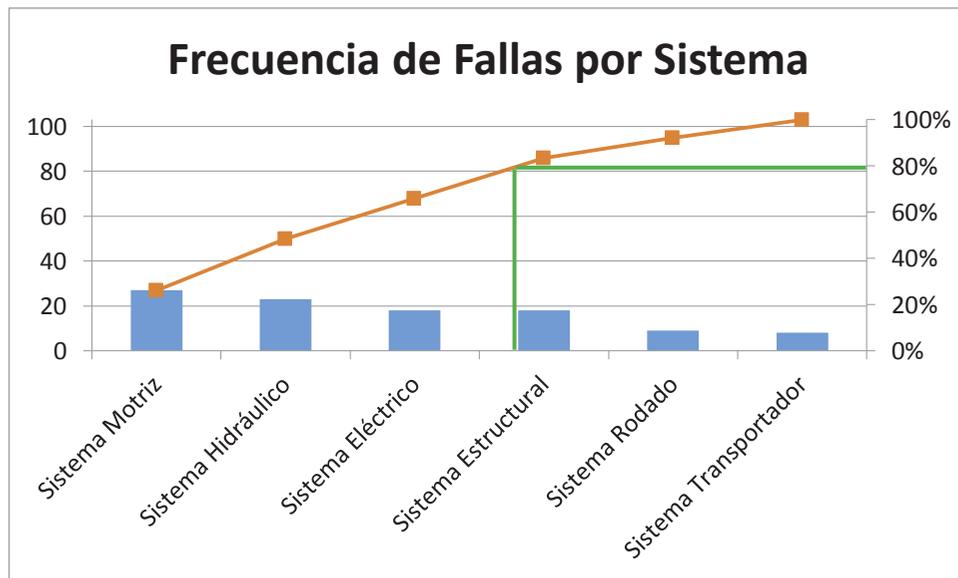


Fig. 54 Diagrama de Pareto: Frecuencia de fallas por sistema del limpiavías “Rockloader Chesta”.

## **ANEXO VI: Continuación de hojas AMFEC**

Se presenta la continuación del desarrollo de las hojas AMFEC para valoración de fallos y prevención de fallos de ambas locomotoras.

Continuación: Hoja AMFEC para valoración de fallos de locomotora 661.

Relay, Transductores y Tarjetas Electrónicas	24V, Tarjetas Electrónicas 5V	Sin contacto	Quemado	Cortocircuito	Conexiones sucias	Pérdida de control y comando	SI	SI	NO	SI	NO	8	7	5	280
Selector de Freno de Aparcamiento	24V	Sin contacto	Aislamiento	Conexiones sucias		Pérdida de control y comando en sistema de frenado	NO	SI	NO	SI	NO	3	7	4	84
Tarjeta de Control	5V	Sin contacto	Quemado	Cortocircuito	Conexiones sucias	Pérdida de control y comando	SI	SI	NO	SI	NO	4	7	5	140
<b>SISTEMA COMPRESIÓN</b>															
Aceite y Filtro de Compresor		Pérdida de propiedades	Término de vida útil			Problemas de compresión	SI	NO	NO	SI	NO	6	7	5	210
Válvula de Despiche	110~145 PSI	Fuga aire	Asiento de válvula trabado	Humedad	Desgaste	Pérdida de presión, locomotora queda frenada	NO	NO	NO	SI	NO	3	7	2	42
			Pistón de válvula trabado	Corrosión											
<b>SISTEMA ELÉCTRICO</b>															
Baterías	8 baterías de 8V en serie (64V)	Locomotora sin alimentación baterías no acumulan carga	Término de vida útil			Problemas de partida	NO	NO	NO	SI	NO	5	7	3	105
Contactor de Compresor	64V	Desgaste contactos móviles (escoriados)	Aislamiento	Conexiones sucias		Pérdida de control y comando de compresor	SI	NO	NO	SI	NO	5	7	6	210

Contactos Auxiliares	24V	Desgaste contactos móviles (escoriados)	Aislamiento	Conexiones sucias		Pérdida de control y comando	SI	SI	NO	SI	NO	4	7	6	168
Diodo Zener	0,7V	Conduce para ambos lados	Quemado	Cortocircuito	Conexiones sucias	Falla fuente de poder LVPS no convierte corriente alterna a continua	SI	NO	NO	SI	NO	2	7	5	70
Focos	70V	Quebrado / Quemado	Golpe	Ambiente interior mina		Sin luces de desplazamiento	NO	SI	NO	SI	NO	5	9	1	45
			Término de vida útil												
Fuente de Poder LVPS	Fuente 64V; Control 24-27V	Sin conversión de voltaje	Quemado	Cortocircuito	Conexiones sucias	No carga baterías	SI	NO	NO	SI	NO	6	7	5	210
<b>SISTEMA ESTRUCTURAL</b>															
Cerradura		No cierra	Golpe	Mala operación		Puerta no cierra	NO	SI	NO	SI	NO	2	4	1	8
			Término de vida útil												
<b>SISTEMA DE FRENOS</b>															
Zapatras		Desgastadas	Término de vida útil			No frena correctamente	NO	SI	NO	SI	NO	4	8	2	64
			Mala operación												
<b>SISTEMA DE POTENCIA</b>															
Aceite y Filtro de Aceite Motor		Pérdida de propiedades	Término de vida útil			Calentamiento por fricción de elementos móviles del motor	SI	NO	NO	SI	NO	6	7	5	210
Empaquetadura de Escape		Mala Calidad	Término de vida útil			Hollín y gases de escape al interior del motor	SI	SI	NO	SI	NO	5	4	7	140
Filtro de Aire		Gastado	Término de vida útil			Admisión de aire contaminado	NO	SI	NO	SI	NO	4	8	4	128
Mangueras de Escape		Pérdida de potencia	Término de vida útil			Pérdida de potencia por escape tapado	SI	NO	NO	SI	NO	4	4	6	96
<b>SISTEMA DE RODADO</b>															
Inversor de Marcha		Trabado	Uso/utilización			No invierte sentido de desplazamiento	NO	NO	NO	SI	NO	5	5	2	50

Tabla 65 Continuación Hoja AMFEC para valoración de fallos de locomotora "NREC - 2GS-16B" #661.

Continuación: Hoja AMFEC para valoración de fallos de locomotora #662.

SISTEMA CONTROL Y COMANDO															
Panel NFORCE	24V	Pantalla indicadora no funciona	Quemado	Cortocircuito	Conexiones sucias	Pérdida de indicadores de locomotora, no se puede realizar prueba de carga ni test de sistemas	NO	SI	NO	SI	NO	6	7	4	168
Relay, Transductores y Tarjetas Electrónicas	24V; Tarjetas Electrónicas 5V	Sin contacto	Quemado	Cortocircuito	Conexiones sucias	Pérdida de control y comando	SI	SI	NO	SI	NO	8	7	5	280
Selector de Velocidad	24V	Sin contacto	Aislación	Conexiones sucias		Pérdida de control y comando de la velocidad	NO	SI	NO	SI	NO	4	7	4	112
SISTEMA COMPRESIÓN															
Válvula de Despiche	110-145 PSI	Fuga de aire	Asiento de válvula trabado	Humedad	Desgaste	Pérdida de presión, locomotora queda frenada	NO	NO	NO	SI	NO	3	7	2	42
			Pistón de válvula trabado	Corrosión											
SISTEMA ELÉCTRICO															
Baterías	8 baterías de 8V en serie (64V)	Locomotora sin alimentación baterías no acumulan carga	Término de vida útil			Problemas de partida sistema en general	NO	NO	NO	SI	NO	5	7	3	105
Braker de Motor 1	160V	Desgaste de contactos móviles y fijos (escoriados)	Aislamiento	Conexiones sucias		Problema de partida del motor 1	NO	NO	NO	SI	NO	6	7	4	168

Contactor de Compresor	64V	Desgaste de contactos móviles (escoriados)	Aislamiento	Conexiones sucias		Pérdida de control y comando de compresor	SI	NO	NO	SI	NO	5	7	6	210
Diodo Zener	0,7V	Conduce para ambos lados	Quemado	Cortocircuito	Conexiones sucias	Falla fuente de poder LVPS no convierte corriente alterna a continua	SI	NO	NO	SI	NO	2	7	5	70
Focos	70V	Quebrado / Quemado	Golpe	Ambiente interior mina		Sin luces de desplazamiento	NO	SI	NO	SI	NO	5	9	1	45
			Término de vida útil												
Fuente de Poder LVPS	Fuera 64V; Control 24-27V	Sin conversión de voltaje	Quemado	Cortocircuito	Conexiones sucias	No carga baterías	SI	NO	NO	SI	NO	6	7	5	210
<b>SISTEMA DE FRENOS</b>															
Zapatas		Desgastadas	Término de vida útil			No frena correctamente	NO	SI	NO	SI	NO	4	8	2	64
			Mala Operación												
<b>SISTEMA DE POTENCIA</b>															
Aceite y Filtro de Aceite Motor		Pérdida de propiedades	Término de vida útil			Calentamiento por fricción de elementos móviles del motor	SI	NO	NO	SI	NO	6	7	5	210
Catalizador		Pérdida de potencia	Término de vida útil			Catalizador fundido tapado/saturado de hollín	SI	SI	NO	SI	NO	4	4	6	96
Empaquetadura de Escape		Mala Calidad	Término de vida útil			Hollín y gases de escape al interior del motor	SI	SI	NO	SI	NO	5	4	7	140
Filtro de Aire		Gastado	Término de vida útil			Admisión de aire contaminado	NO	SI	NO	SI	NO	4	8	4	128
Mangueras de Escape		Pérdida de potencia	Término de vida útil			Pérdida de potencia por escape tapado	SI	NO	NO	SI	NO	4	4	6	96
<b>SISTEMA DE REFRIGERACIÓN</b>															
Anticongelante Motor		Pérdida de propiedades	Término de vida útil			Sobrecalentamiento del motor	SI	NO	NO	SI	NO	3	7	5	105
<b>SISTEMA DE RODADO</b>															
Inversor de Marcha		Trabado	Uso/utilización			No invierte sentido de desplazamiento	NO	NO	NO	SI	NO	5	5	2	50

Tabla 66 Continuación Hoja AMFEC para valoración de fallos de locomotora "NREC - 2GS-16B" #662.

Continuación: Hoja AMFEC para prevención de fallos de Locomotora 661.

Relay, Transductores y Tarjetas Electrónicas	24V, Tarjetas Electrónicas 5V	Sin contacto	Quemado	Cortocircuito	Conexiones sucias	Pérdida de control y comando	8	7	5	280	
Selector de Freno de Aparcamiento	24V	Sin contacto	Aislamiento	Conexiones sucias		Pérdida de control y comando en sistema de frenado	3	7	4	84	Verificar funcionamiento de interruptores de control cada 200 hrs. Si detecta alguna anomalía reparar.
Tarjeta de Control	5V	Sin contacto	Quemado	Cortocircuito	Conexiones sucias	Pérdida de control y comando	4	7	5	140	
<b>SISTEMA COMPRESIÓN</b>											
Aceite y Filtro de Compresor		Pérdida de propiedades	Término de vida útil			Problemas de compresión	6	7	5	210	Revisar nivel de aceite y rellenar si es necesario cada 200 hrs. Cambiar filtro de aceite y filtro separador de aceite cada 1600 hrs.
Válvula de Despiche	110-145 PSI	Fuga aire	Asiento de válvula trabado	Humedad	Desgaste	Pérdida de presión, locomotora queda frenada	3	7	2	42	Revisar válvulas, reemplazar si es necesario cada 400 horas.
			Pistón de válvula trabado	Corrosión							
<b>SISTEMA ELÉCTRICO</b>											
Baterías	8 baterías de 8V en serie (64V)	Locomotora sin alimentación baterías no acumulan carga	Término de vida útil			Problemas de partida	5	7	3	105	Cada 400 hrs. revisar terminales de conexión y verificar carga, si es menor a 8v cambiar.
Contactor de Compresor	64V	Desgaste contactos móviles (escoriados)	Aislamiento	Conexiones sucias		Pérdida de control y comando de compresor	5	7	6	210	Revisar, limpiar o cambiar si están muy escoriados cada 200 hrs.

Contactos Auxiliares	24V	Desgaste contactos móviles (escoriados)	Aislamiento	Conexiones sucias		Pérdida de control y comando	4	7	6	168	
Diodo Zener	0,7V	Conduce para ambos lados	Quemado	Cortocircuito	Conexiones sucias	Falla fuente de poder LVPS no convierte corriente alterna a continua	2	7	5	70	Por mejora, el equipo ya no posee este diodo.
Focos	70V	Quebrado / Quemado	Golpe	Ambiente interior mina		Sin luces de desplazamiento	5	9	1	45	Revisar estado y funcionamiento cada 200 hrs.
			Término de vida útil								
Fuente de Poder LVPS	Fuerza 64V; Control 24-27V	Sin conversión de voltaje	Quemado	Cortocircuito	Conexiones sucias	No carga baterías	6	7	5	210	Pauta LVPS, limpieza y soplado de fuente de poder y filtros cada 5 días.
<b>SISTEMA ESTRUCTURAL</b>											
Cerradura		No cierra	Golpe	Mala operación		Puerta no cierra	2	4	1	8	
			Término de vida útil								
<b>SISTEMA DE FRENOS</b>											
Zapatas		Desgastadas	Término de vida útil			No frena correctamente	4	8	2	64	Revisión de estado pauta LVPS cada 5 días. Cada 200 hrs. revisar largo de vástago de cilindro de freno, si es mayor a 4" ajustar o cambiar zapata.
			Mala operación								
<b>SISTEMA DE POTENCIA</b>											
Aceite y Filtro de Aceite Motor		Pérdida de propiedades	Término de vida útil			Calentamiento por fricción de elementos móviles del motor	6	7	5	210	Toma de muestra, cambio de aceite y filtro cada 400 hrs. Verificar estanque de reserva cada 800 hrs.
Empaquetadura de Escape		Mala Calidad	Término de vida útil			Hollín y gases de escape al interior del motor	5	4	7	140	Verificar estado si es necesario cambiar, cada 800 hrs.
Filtro de Aire		Gastado	Término de vida útil			Admisión de aire contaminado	4	8	4	128	Revisión y cambio si es necesario, pauta LVPS cada 5 días. Cambiar cada 100 hrs.
Mangueras de Escape		Pérdida de potencia	Término de vida útil			Pérdida de potencia por escape tapado	4	4	6	96	Revisión de mangueras de escape cada 200 hrs. cambiar si es necesario.
<b>SISTEMA DE RODADO</b>											
Inversor de Marcha		Trabado	Uso/utilización			No invierte sentido de desplazamiento	5	5	2	50	

**Tabla 67 Continuación Hoja AMFEC para prevención de fallos de locomotora "NREC – 2GS-16B" #661.**

Continuación: Hoja AMFEC para prevención de fallos de locomotora 662.

SISTEMA CONTROL Y COMANDO											
Panel NFORCE	24V	Pantalla indicadora no funciona	Quemado	Cortocircuito	Conexiones sucias	Pérdida de indicadores de locomotora, no se puede realizar prueba de carga ni test de sistemas	6	7	4	168	Realizar prueba de autocarga a ambos gen set y verificar valores de potencia según pautas cada 3200 hrs. Diferencias menores al 15% respecto a valor nominal implica revisión de sistemas diésel y eléctrico hasta normalizar el valor.
Relay, Transductores y Tarjetas Electrónicas	24V; Tarjetas Electrónicas 5V	Sin contacto	Quemado	Cortocircuito	Conexiones sucias	Pérdida de control y comando	8	7	5	280	Verificar funcionamiento de interruptores de control cada 200 hrs. Si detecta alguna anomalía reparar.
Selector de Velocidad	24V	Sin contacto	Aislación	Conexiones sucias		Pérdida de control y comando de la velocidad	4	7	4	112	
SISTEMA COMPRESIÓN											
Válvula de Despiche	110~145 PSI	Fuga de aire	Asiento de válvula trabado	Humedad	Desgaste	Pérdida de presión, locomotora queda frenada	3	7	2	42	Revisar válvulas, reemplazar si es necesario cada 400 horas.
			Pistón de válvula trabado	Corrosión							
SISTEMA ELÉCTRICO											
Baterías	8 baterías de 8V en serie (64V)	Locomotora sin alimentación baterías no acumulan carga	Término de vida útil			Problemas de partida sistema en general	5	7	3	105	Cada 400 hrs. revisar terminales de conexión y verificar carga, si es menor a 8v cambiar.
Braker de Motor 1	160V	Desgaste de contactos móviles y fijos (escoriados)	Aislamiento	Conexiones sucias		Problema de partida del motor 1	6	7	4	168	Revisar, limpiar o cambiar si están muy escoriados cada 200 hrs.

Contactor de Compresor	64V	Desgaste de contactos móviles (escoriados)	Aislamiento	Conexiones sucias		Pérdida de control y comando de compresor	5	7	6	210	
Diodo Zener	0,7V	Conduce para ambos lados	Quemado	Cortocircuito	Conexiones sucias	Falla fuente de poder LVPS no convierte corriente alterna a continua	2	7	5	70	Por mejora, el equipo ya no posee este diodo.
Focos	70V	Quebrado / Quemado	Golpe	Ambiente interior mina		Sin luces de desplazamiento	5	9	1	45	Revisar estado y funcionamiento cada 200 hrs.
			Término de vida útil								
Fuente de Poder LVPS	Fuerza 64V; Control 24-27V	Sin conversión de voltaje	Quemado	Cortocircuito	Conexiones sucias	No carga baterías	6	7	5	210	Pauta LVPS, limpieza y soplado de fuente de poder y filtros cada 5 días.
<b>SISTEMA DE FRENOS</b>											
Zapatas		Desgastadas	Término de vida útil			No frena correctamente	4	8	2	64	Revisión de estado pauta LVPS cada 5 días. Cada 200 hrs. revisar largo de vástago de cilindro de freno, si es mayor a 4" ajustar o cambiar zapata.
			Mala Operación								
<b>SISTEMA DE POTENCIA</b>											
Aceite y Filtro de Aceite Motor		Pérdida de propiedades	Término de vida útil			Calentamiento por fricción de elementos móviles del motor	6	7	5	210	Toma de muestra, cambio de aceite y filtro cada 400 hrs. Verificar estanque de reserva cada 800 hrs.
Catalizador		Pérdida de potencia	Término de vida útil			Catalizador fundido tapado/saturado de hollín	4	4	6	96	Revisión y cambio de filtro cada 200 hrs.
Empaquetadura de Escape		Mala Calidad	Término de vida útil			Hollín y gases de escape al interior del motor	5	4	7	140	Verificar estado si es necesario cambiar, cada 800 hrs.
Filtro de Aire		Gastado	Término de vida útil			Admisión de aire contaminado	4	8	4	128	Revisión y cambio si es necesario, pauta LVPS cada 5 días. Cambiar cada 100 hrs.
Mangueras de Escape		Pérdida de potencia	Término de vida útil			Pérdida de potencia por escape tapado	4	4	6	96	Revisión de mangueras de escape cada 200 hrs. cambiar si es necesario.
<b>SISTEMA DE REFRIGERACIÓN</b>											
Anticongelante Motor		Pérdida de propiedades	Término de vida útil			Sobrecalentamiento del motor	3	7	5	105	Verificar nivel, rellenar cuando corresponda cada 800 hrs.
<b>SISTEMA DE RODADO</b>											
Inversor de Marcha		Trabado	Uso/utilización			No invierte sentido de desplazamiento	5	5	2	50	

Tabla 68 Continuación Hoja AMFEC para prevención de fallos de locomotora "NREC - 2GS-16B" #662.

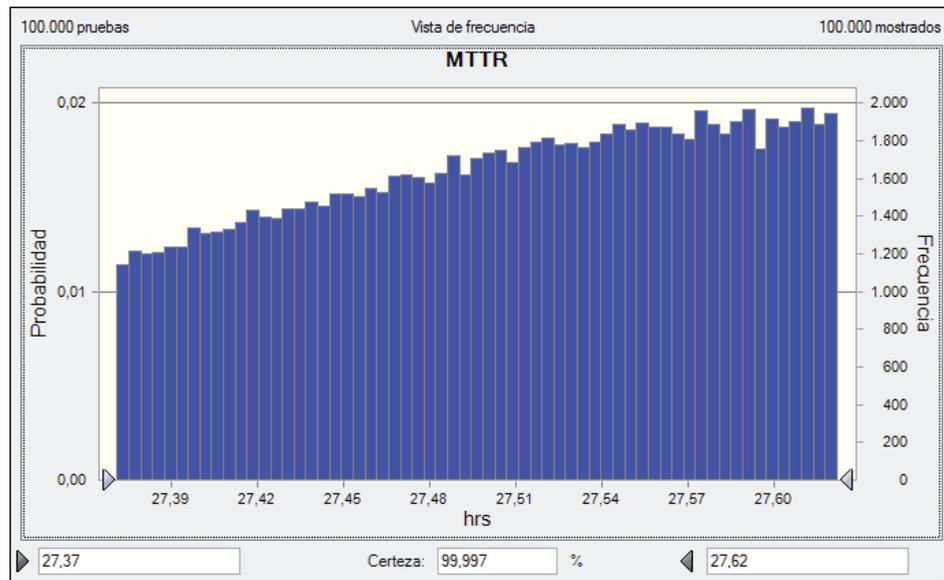
## ANEXO VII: Continuación de Simulaciones Montecarlo

Se presenta la continuación de los resultados obtenidos en Crystal Ball de la Simulación de Montecarlo en estudio.

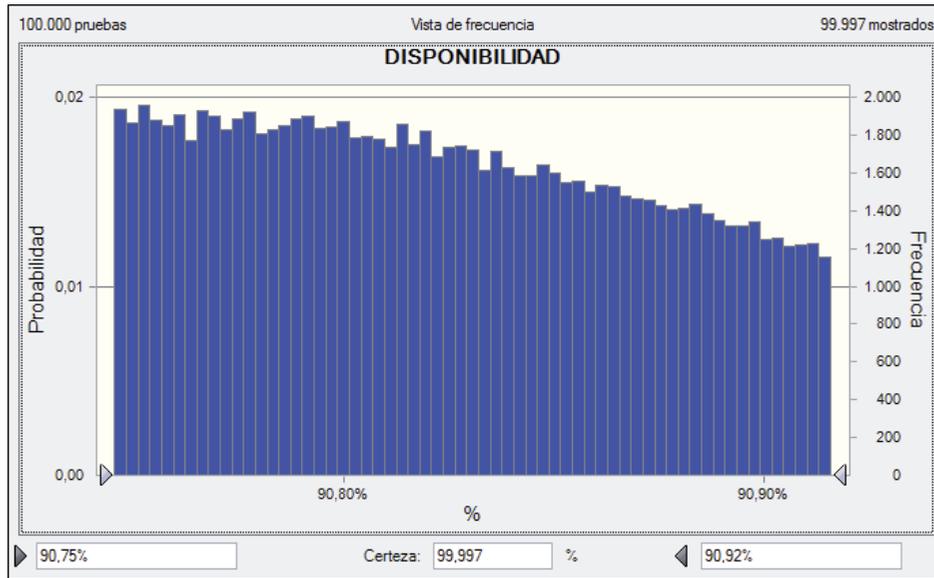
### Sistema Eléctrico

#### Tiempo de Paradas:

- -10%

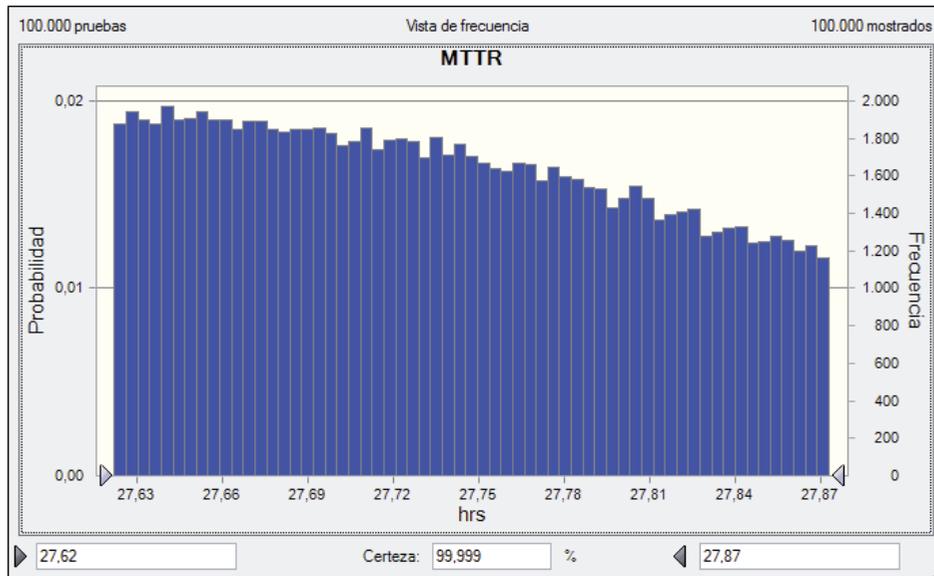


*Fig. 55 Resultados de la Variable de Salida “MTTR”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo de Paradas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 10% menor.*

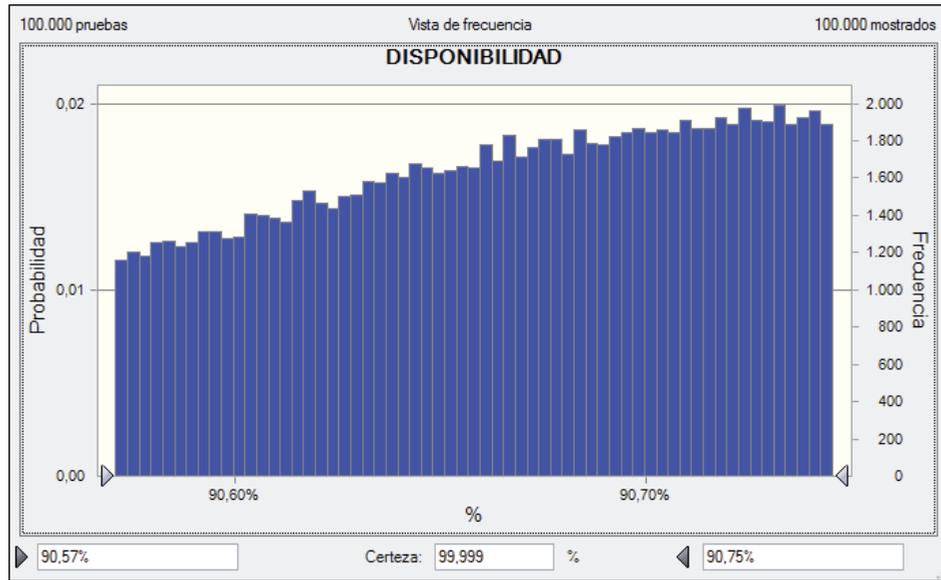


*Fig. 56 Resultados de la Variable de Salida “Disponibilidad”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo de Paradas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 10% menor.*

- 10%

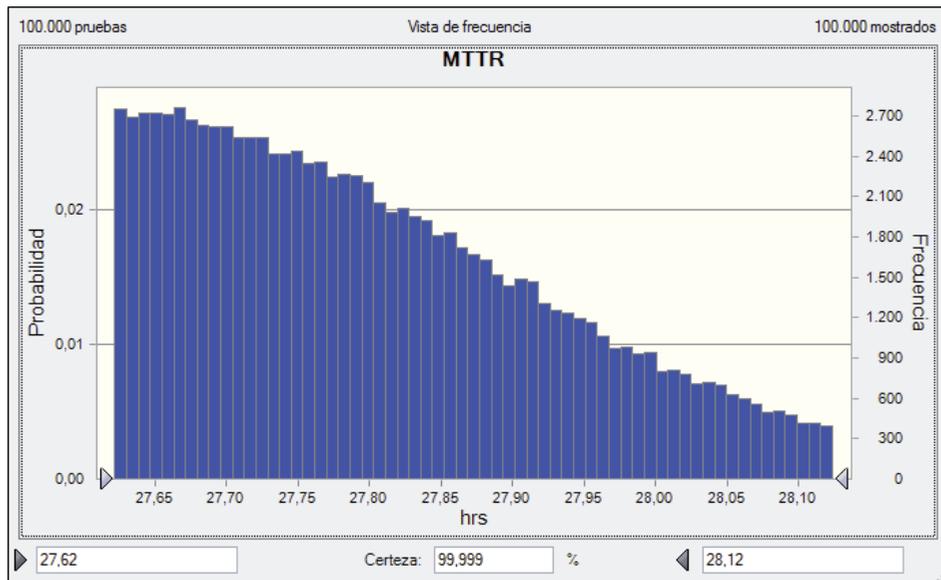


*Fig. 57 Resultados de la Variable de Salida “MTTR”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo de Paradas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 10% mayor.*

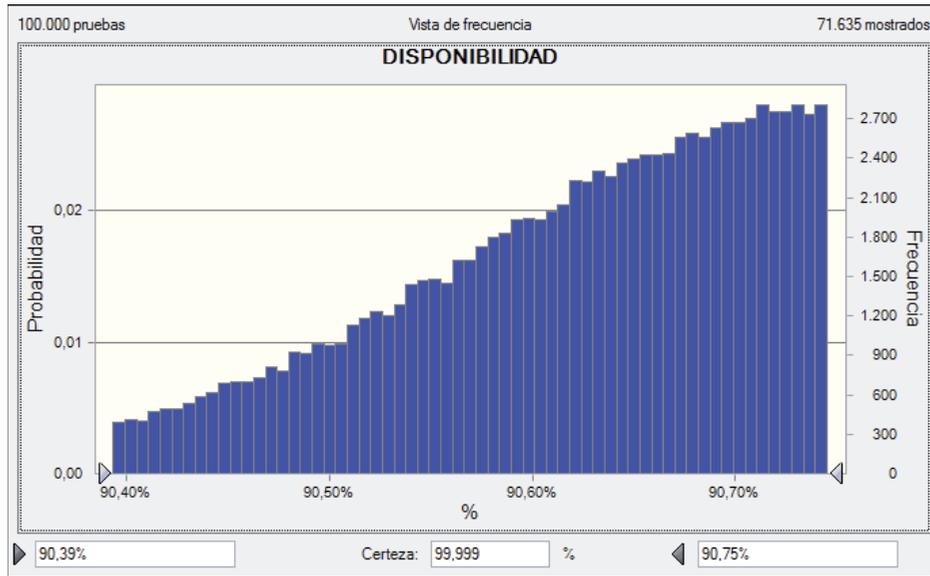


*Fig. 58 Resultados de la Variable de Salida “Disponibilidad”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo de Paradas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 10% mayor.*

- 20%



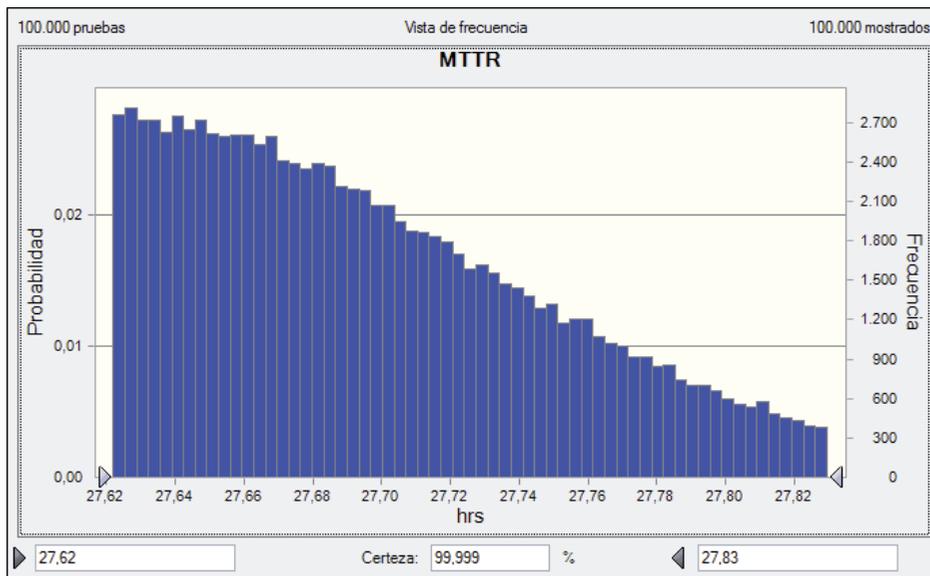
*Fig. 59 Resultados de la Variable de Salida “MTTR”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo de Paradas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 20% mayor.*



*Fig. 60 Resultados de la Variable de Salida “Disponibilidad”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo de Paradas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 20% mayor.*

Número de Paradas:

- -20%



*Fig. 61 Resultados de la Variable de Salida “MTTR”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Número de Paradas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 20% menor.*

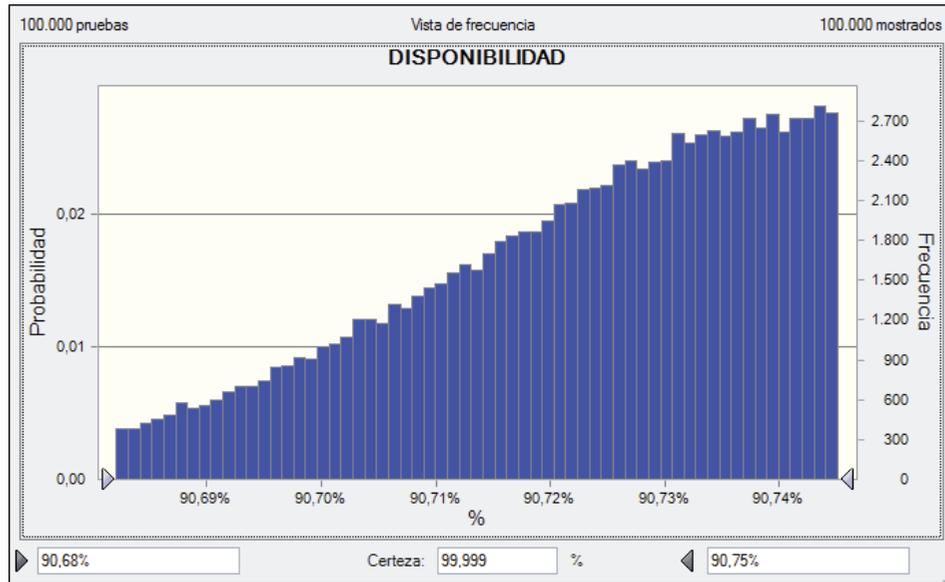


Fig. 62 Resultados de la Variable de Salida “Disponibilidad”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Número de Paradas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 20% menor.

- -10%

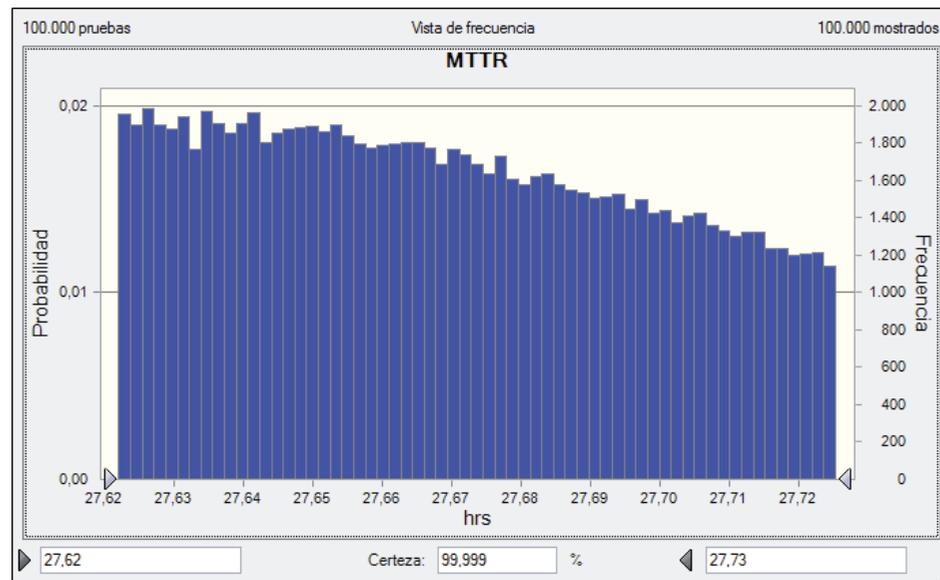
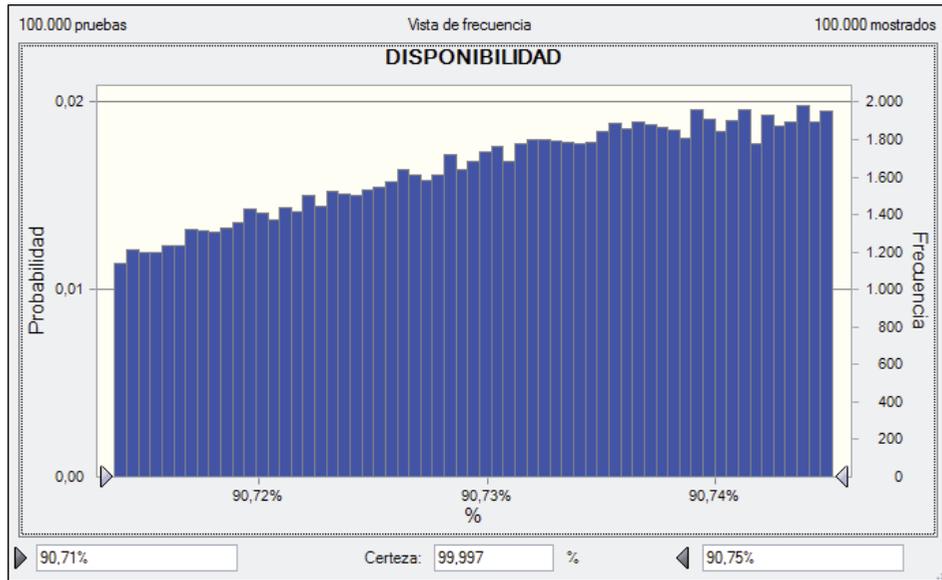
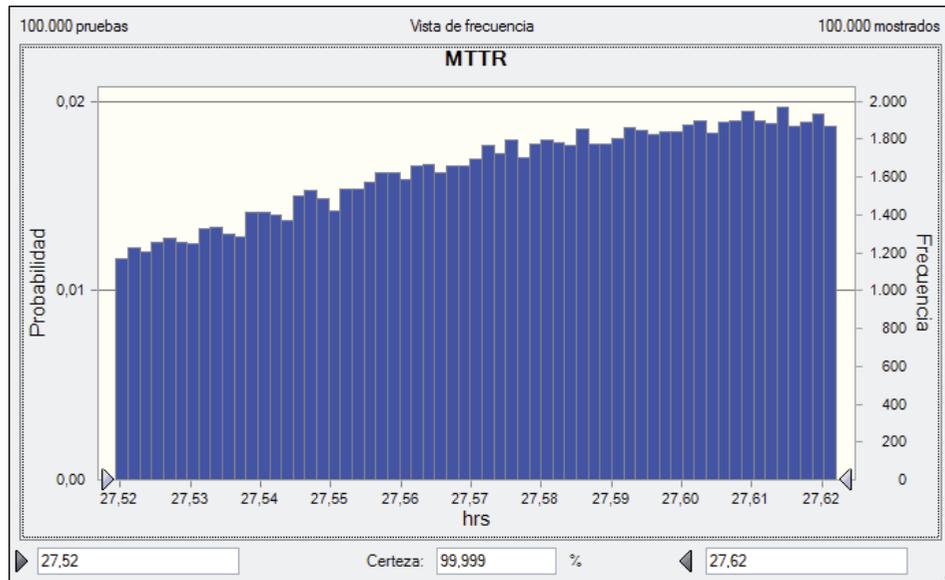


Fig. 63 Resultados de la Variable de Salida “MTTR”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Número de Paradas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 10% menor.



*Fig. 64 Resultados de la Variable de Salida “Disponibilidad”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Número de Paradas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 10% menor.*

- 10%



*Fig. 65 Resultados de la Variable de Salida “MTTR”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Número de Paradas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 10% mayor.*

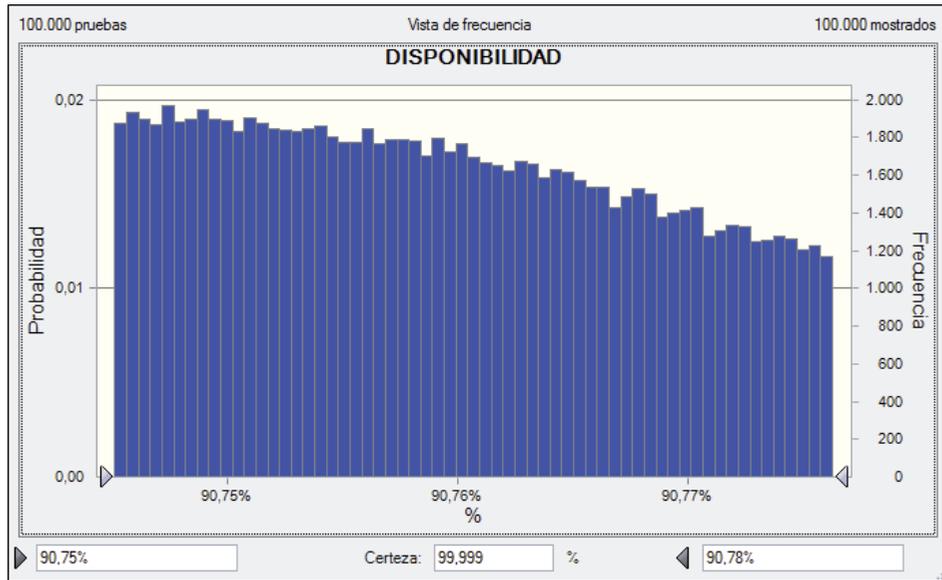


Fig. 66 Resultados de la Variable de Salida “Disponibilidad”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Número de Paradas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 10% mayor.

- 20%

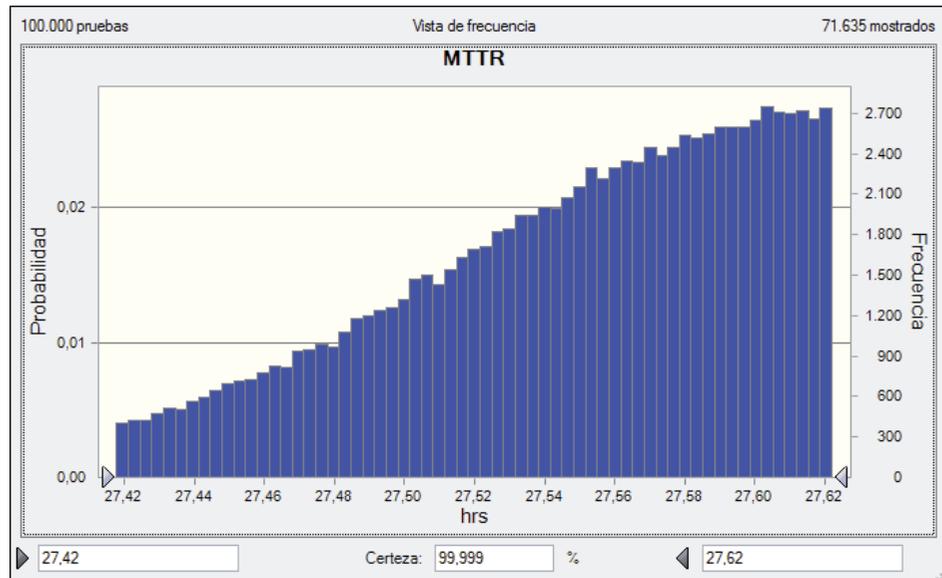
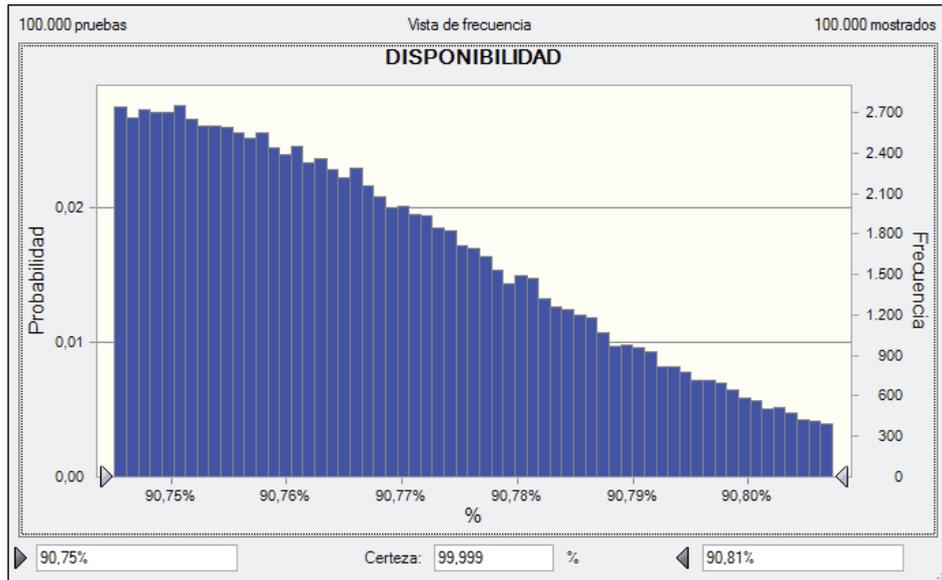


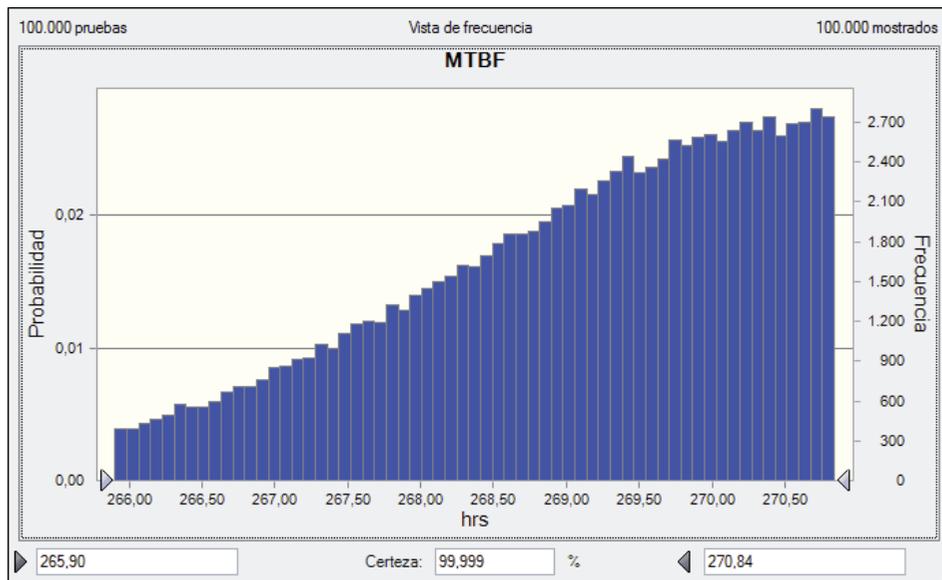
Fig. 67 Resultados de la Variable de Salida “MTR”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Número de Paradas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 20% mayor.



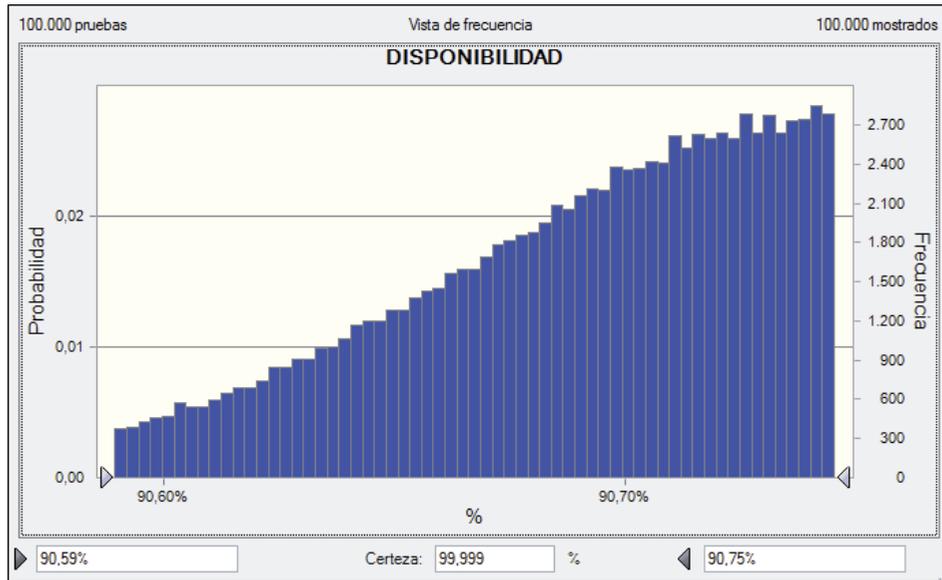
*Fig. 68 Resultados de la Variable de Salida “Disponibilidad”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Número de Paradas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 20% mayor.*

Tiempo Disponible:

- -20%

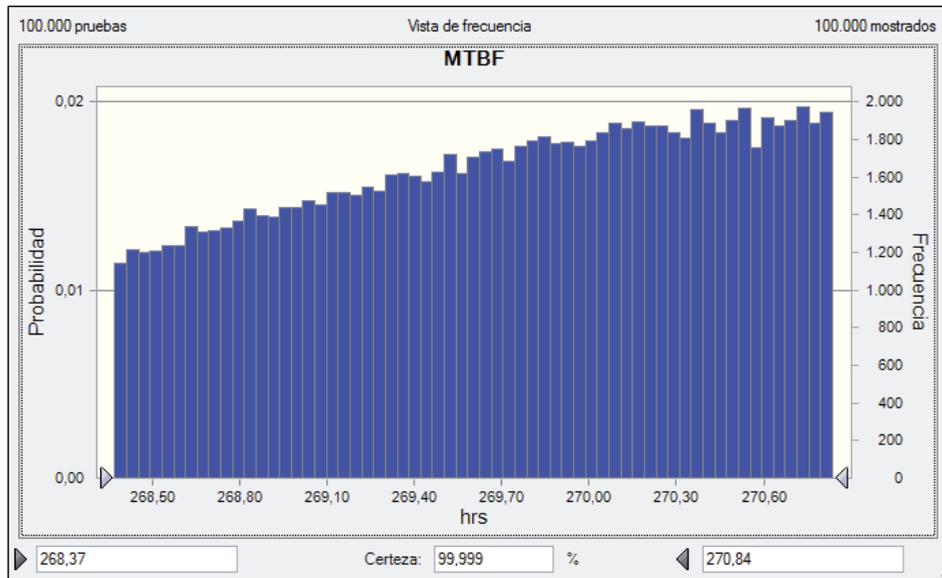


*Fig. 69 Resultados de la Variable de Salida “MTBF”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo Disponible” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 20% menor.*

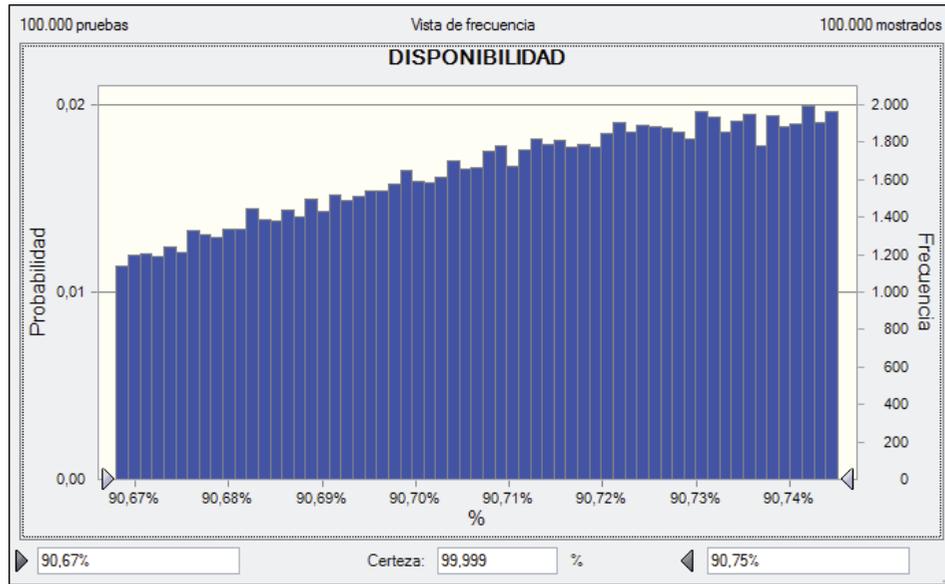


*Fig. 70 Resultados de la Variable de Salida “Disponibilidad”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo Disponible” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 20% menor.*

- -10%

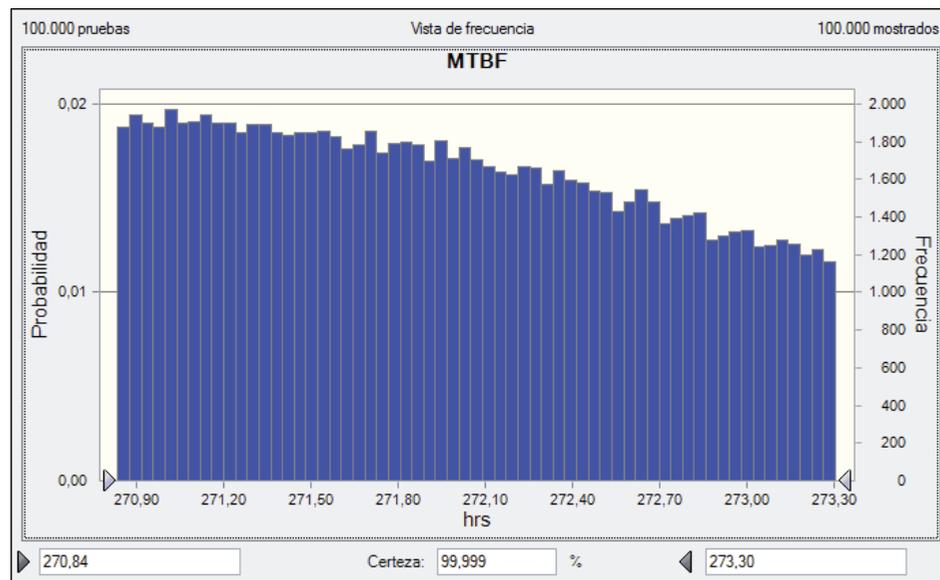


*Fig. 71 Resultados de la Variable de Salida “MTBF”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo Disponible” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 10% menor.*

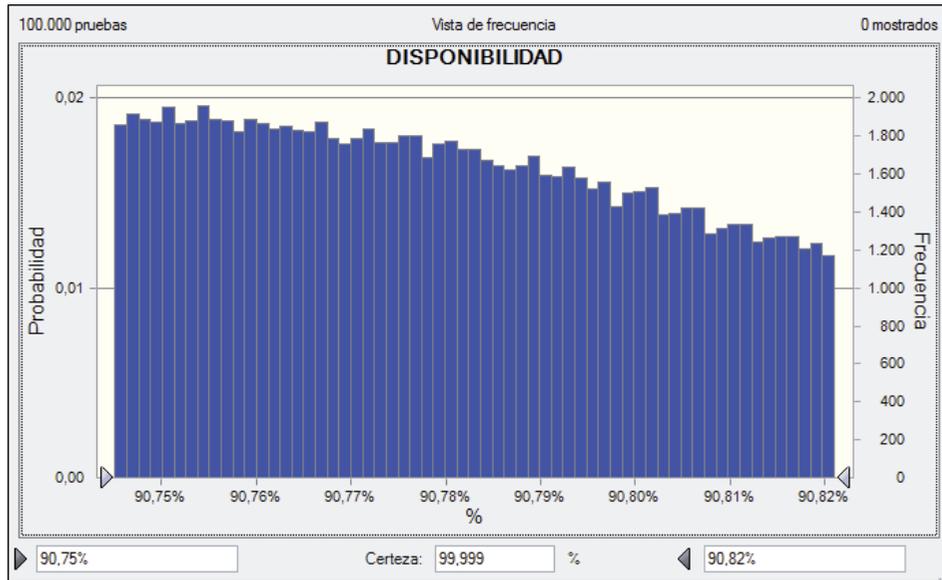


*Fig. 72 Resultados de la Variable de Salida “Disponibilidad”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo Disponible” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 10% menor.*

- 10%



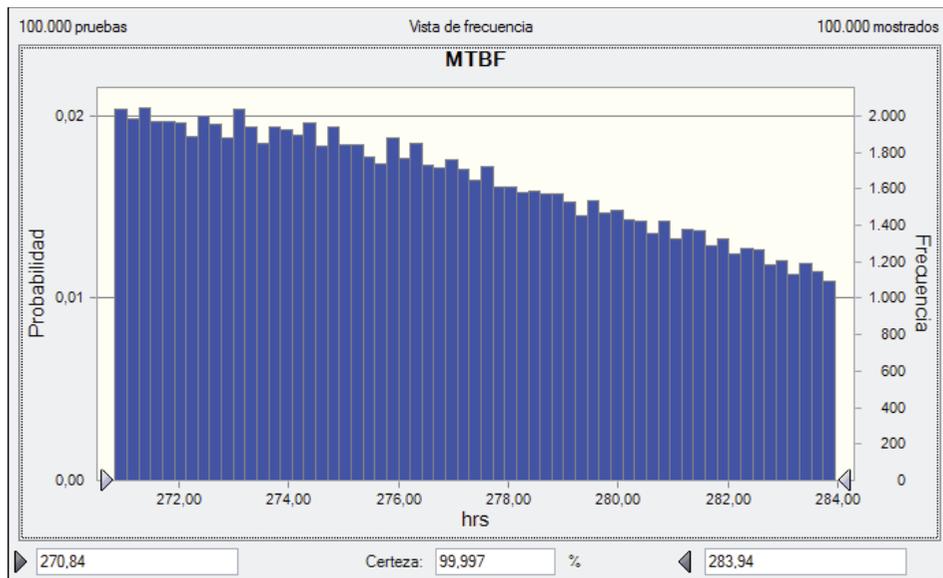
*Fig. 73 Resultados de la Variable de Salida “MTBF”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo Disponible” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 10% mayor.*



*Fig. 74 Resultados de la Variable de Salida “Disponibilidad”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo Disponible” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 10% mayor.*

### Número de Fallas:

- -10%



*Fig. 75 Resultados de la Variable de Salida “MTBF”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Número de Fallas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 10% menor.*

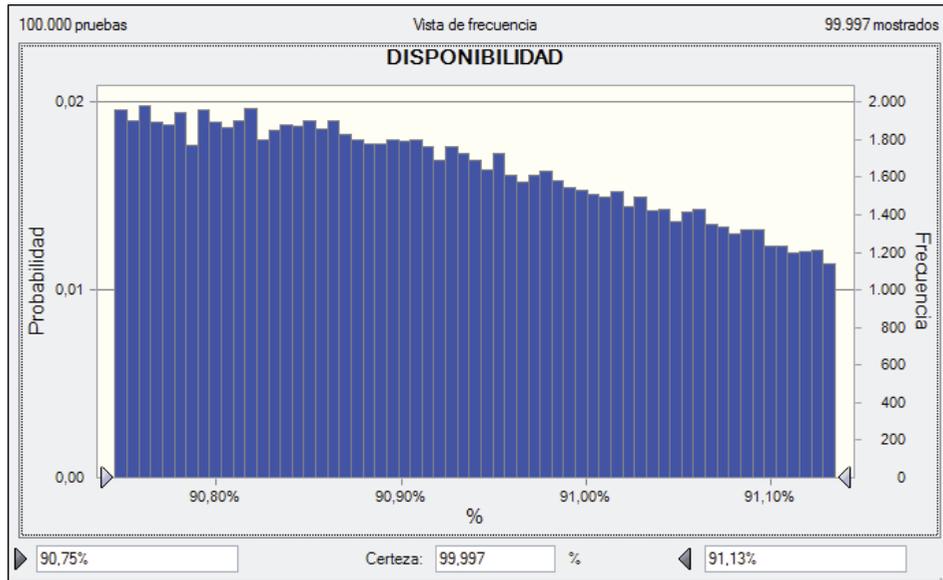


Fig. 76 Resultados de la Variable de Salida “Disponibilidad”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Número de Fallas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 10% menor.

- 10%

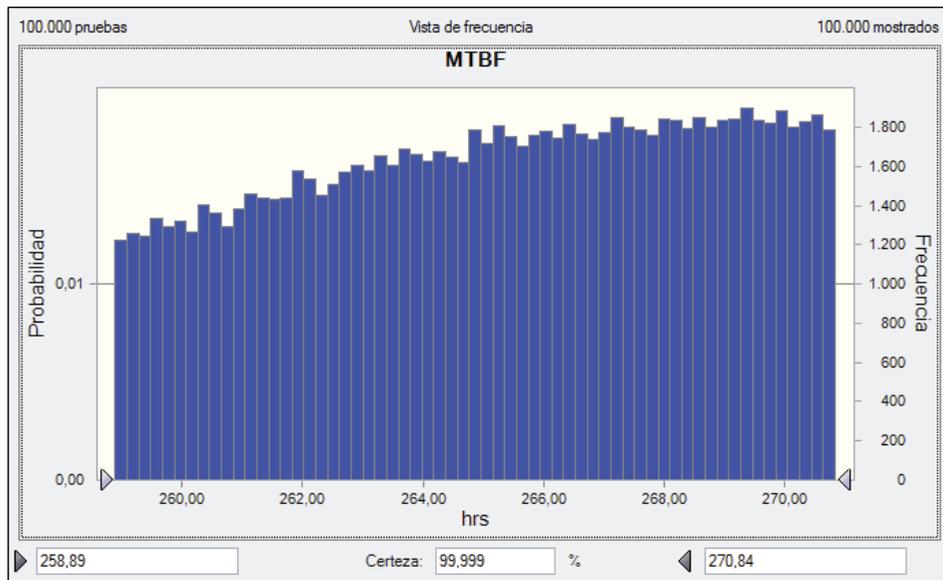
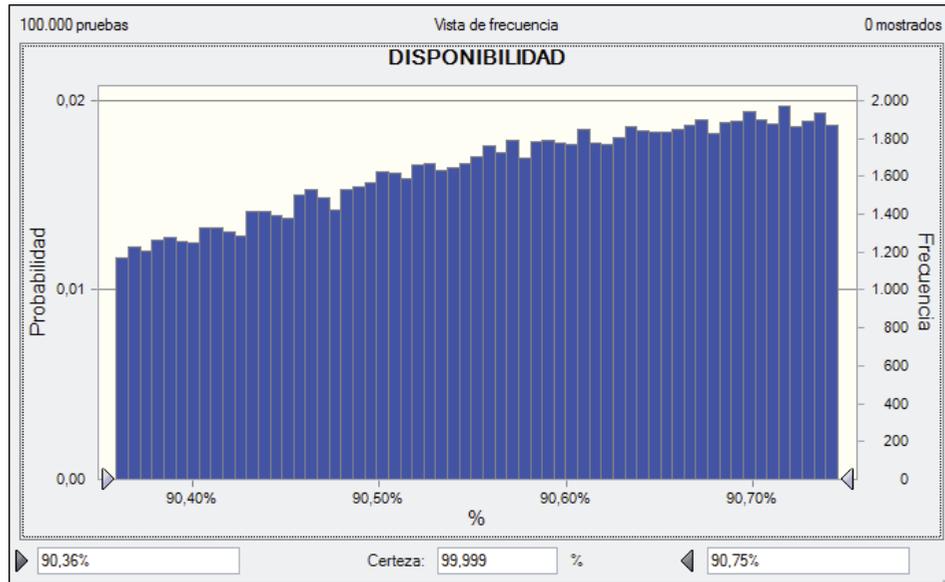
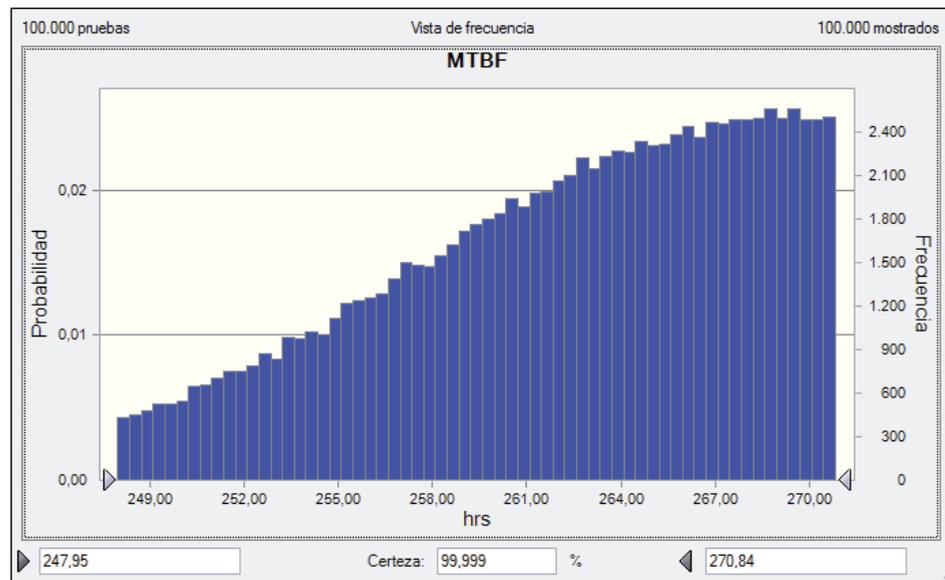


Fig. 77 Resultados de la Variable de Salida “MTBF”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Número de Fallas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 10% mayor.



*Fig. 78 Resultados de la Variable de Salida “Disponibilidad”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Número de Fallas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 10% mayor.*

- 20%



*Fig. 79 Resultados de la Variable de Salida “MTBF”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Número de Fallas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 20% mayor.*

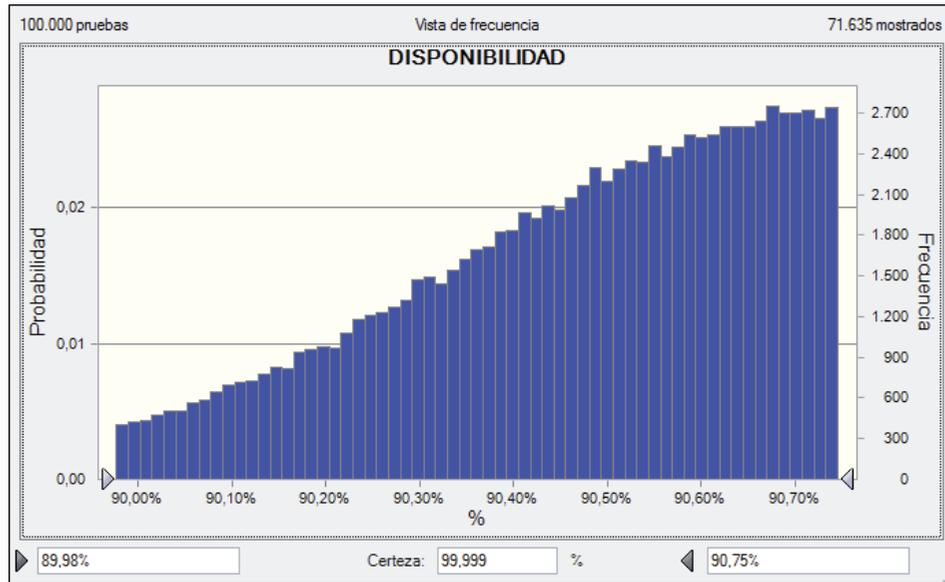


Fig. 80 Resultados de la Variable de Salida “Disponibilidad”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Número de Fallas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 20% mayor.

## Sistema Compresión

### Tiempo de Paradas:

- -10%

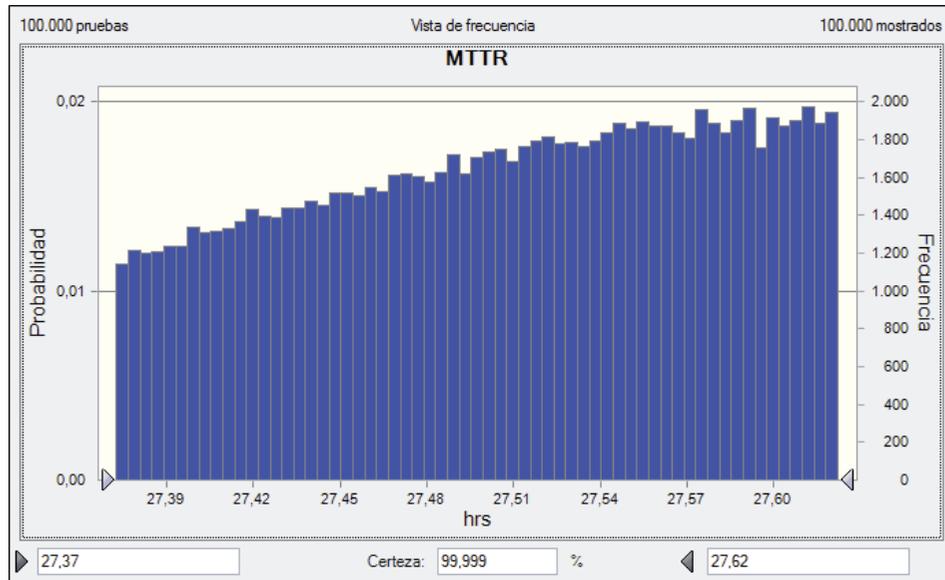
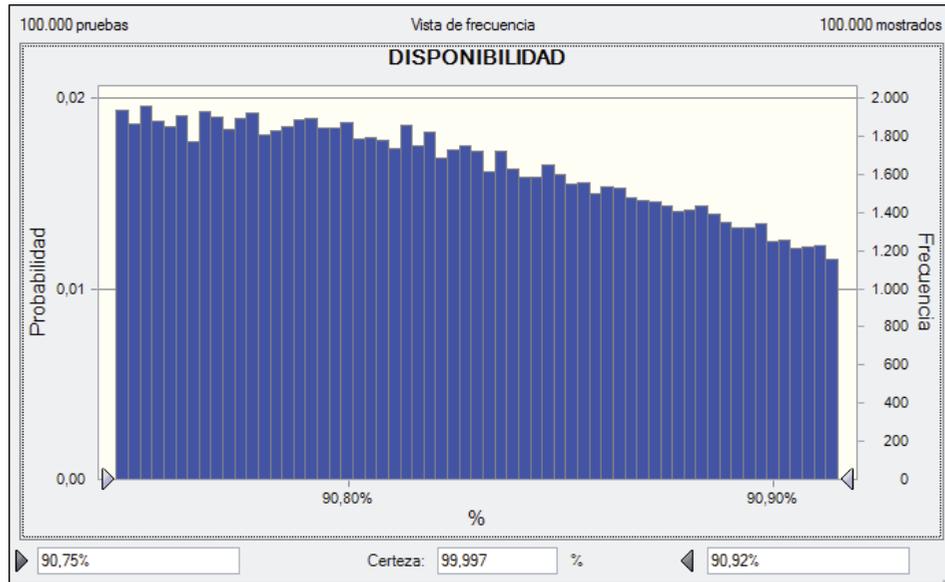
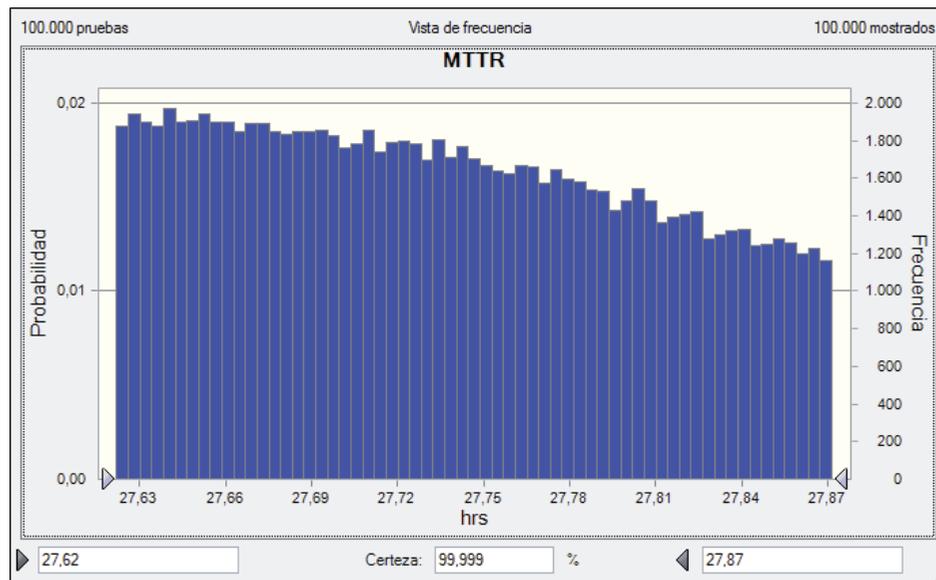


Fig. 81 Resultados de la Variable de Salida “MTTR”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo de Paradas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 10% menor.

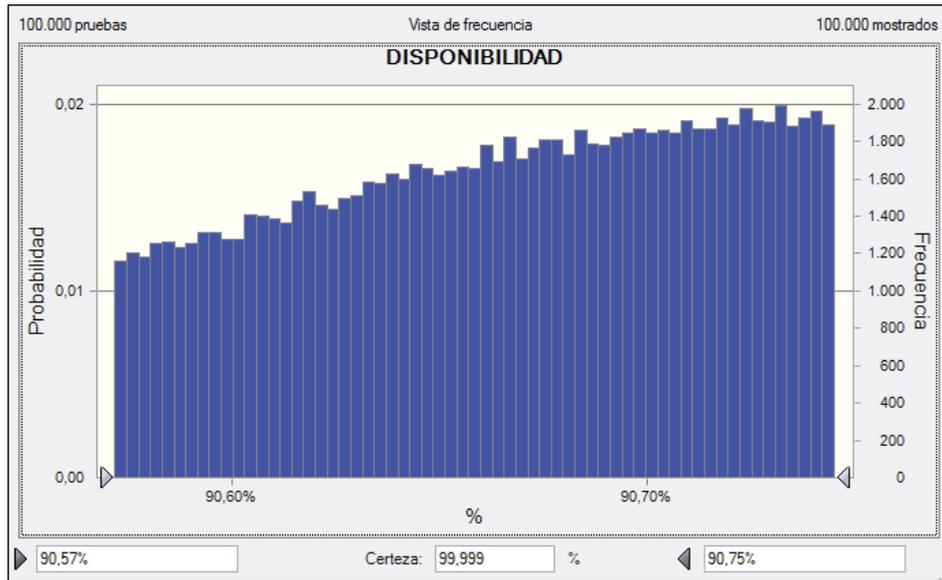


*Fig. 82 Resultados de la Variable de Salida “Disponibilidad”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo de Paradas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 10% menor.*

- 10%

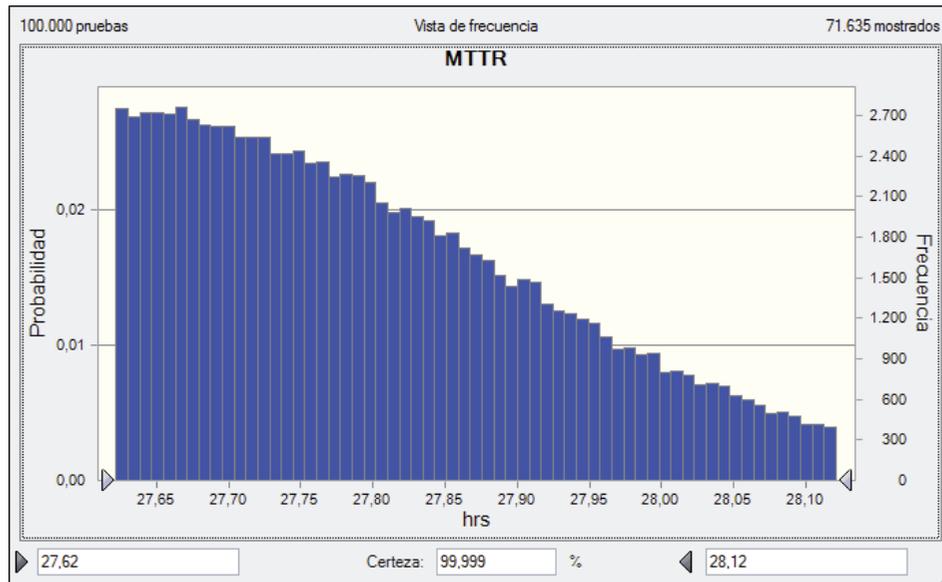


*Fig. 83 Resultados de la Variable de Salida “MTTR”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo de Paradas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 10% mayor.*

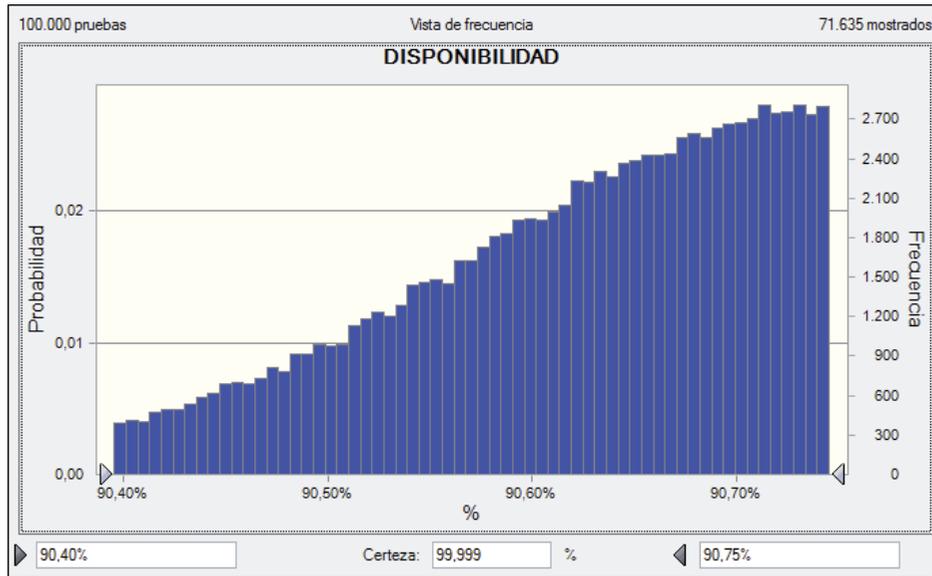


*Fig. 84 Resultados de la Variable de Salida “Disponibilidad”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo de Paradas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 10% mayor.*

- 20%



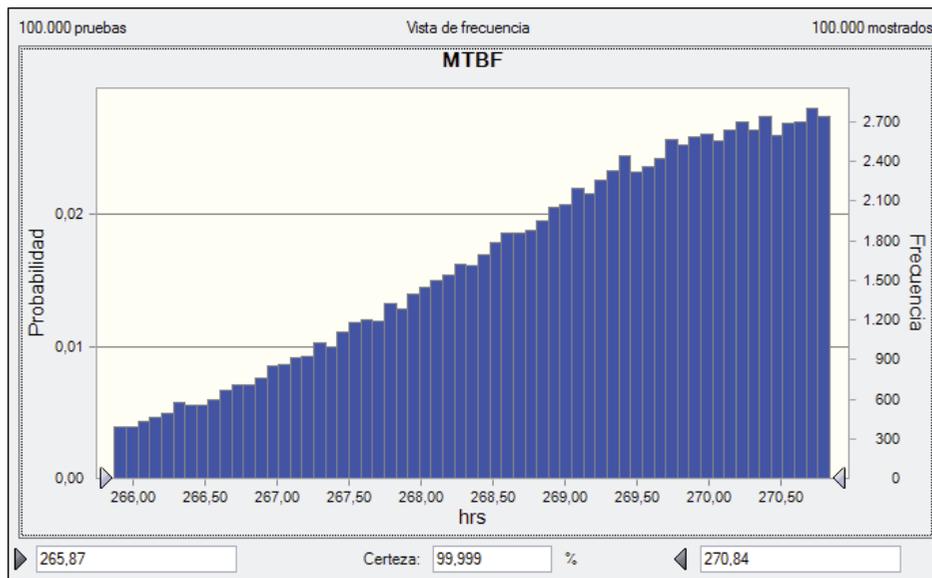
*Fig. 85 Resultados de la Variable de Salida “MTTR”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo de Paradas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 20% mayor.*



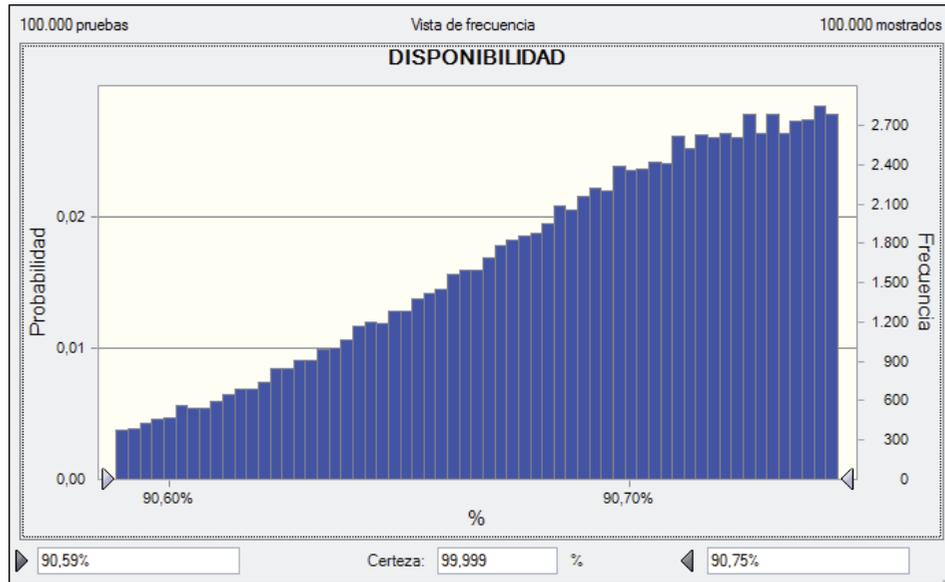
*Fig. 86 Resultados de la Variable de Salida “Disponibilidad”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo de Paradas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 20% mayor.*

Tiempo Disponible:

- -20%

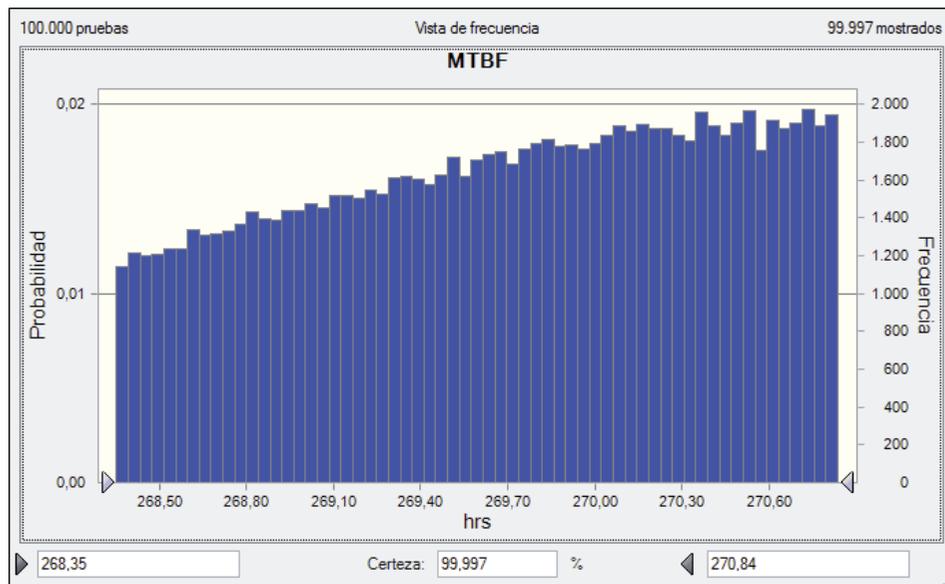


*Fig. 87 Resultados de la Variable de Salida “MTBF”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo Disponible” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 20% menor.*

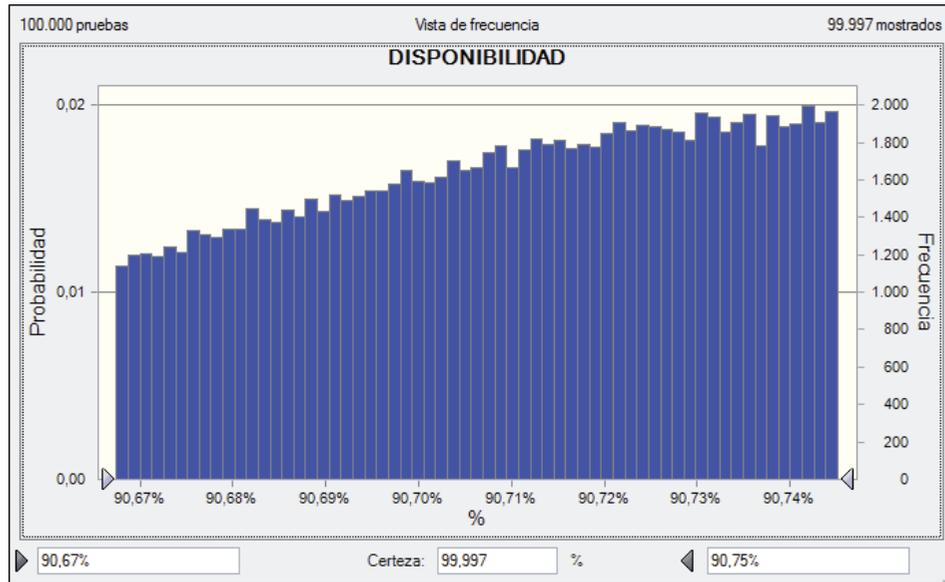


*Fig. 88 Resultados de la Variable de Salida “Disponibilidad”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo Disponible” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 20% menor.*

- -10%

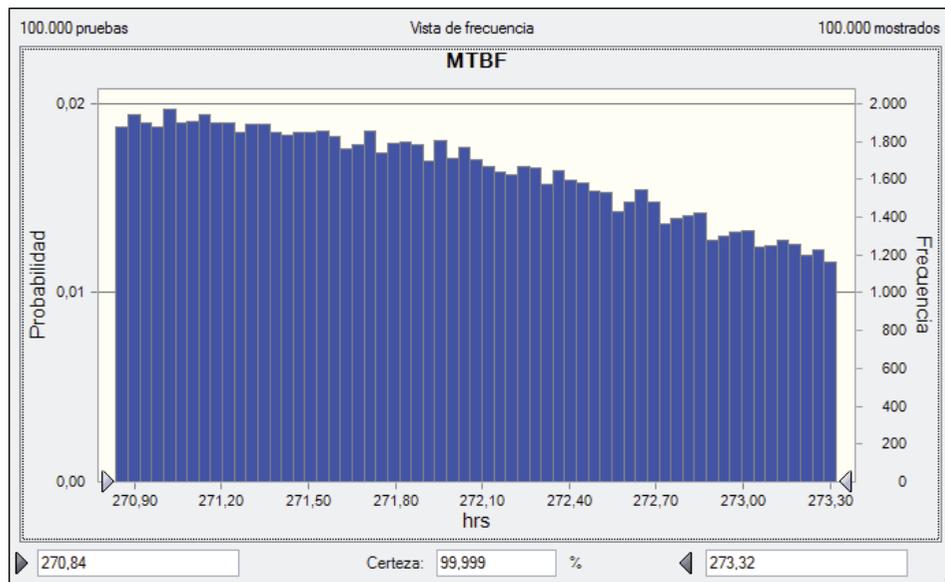


*Fig. 89 Resultados de la Variable de Salida “MTBF”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo Disponible” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 10% menor.*



*Fig. 90 Resultados de la Variable de Salida “Disponibilidad”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo Disponible” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 10% menor.*

- 10%



*Fig. 91 Resultados de la Variable de Salida “MTBF”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo Disponible” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 10% mayor.*

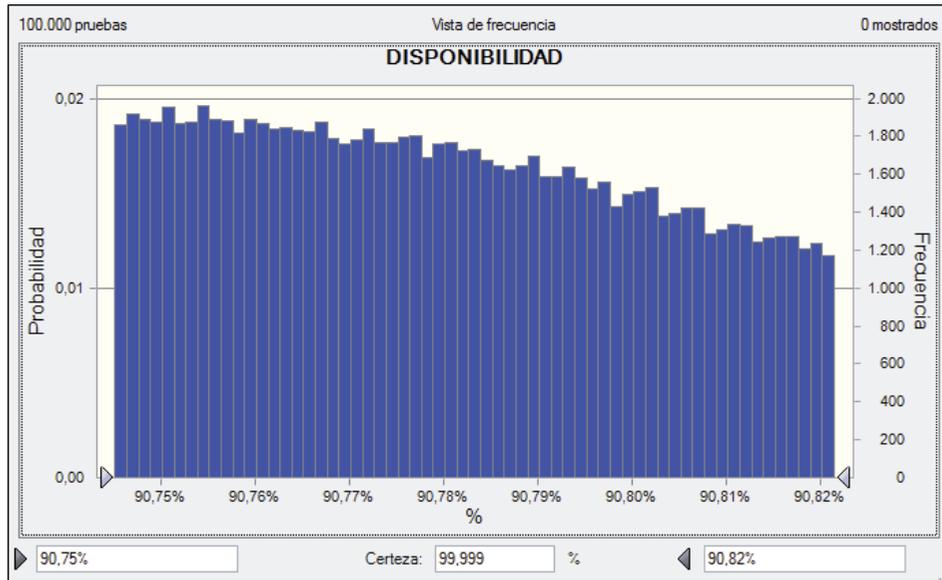


Fig. 92 Resultados de la Variable de Salida “Disponibilidad”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo Disponible” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 10% mayor.

## Sistema Control y Comando

### Tiempo de Paradas:

- -10%

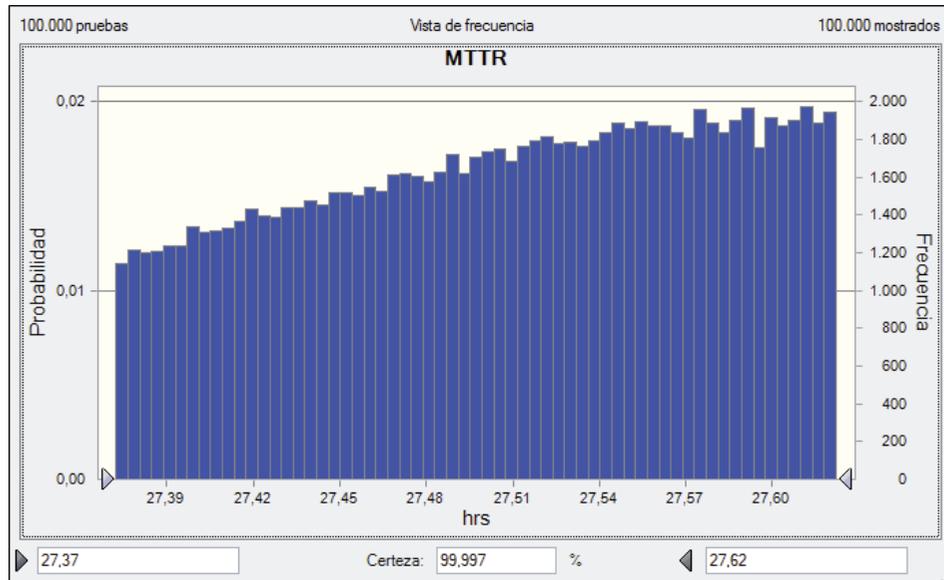
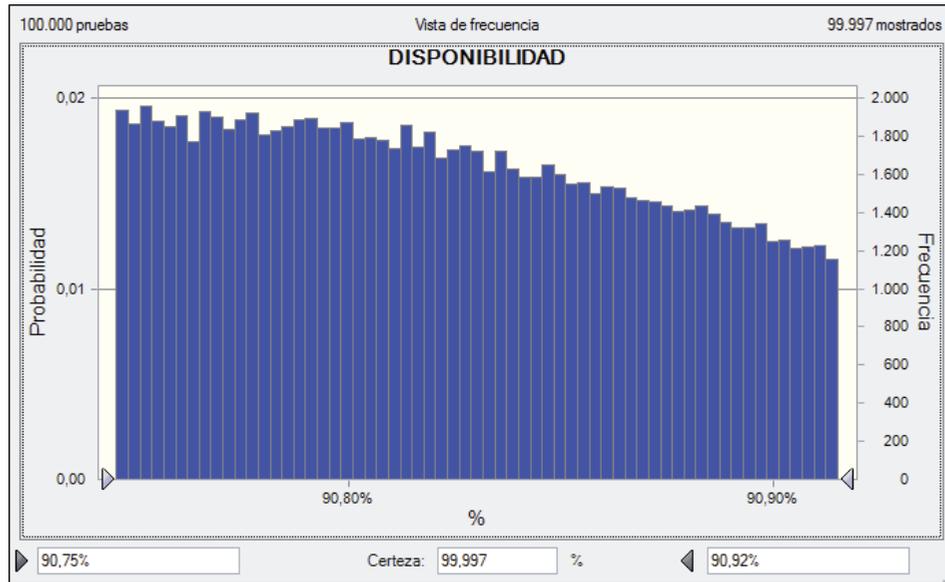
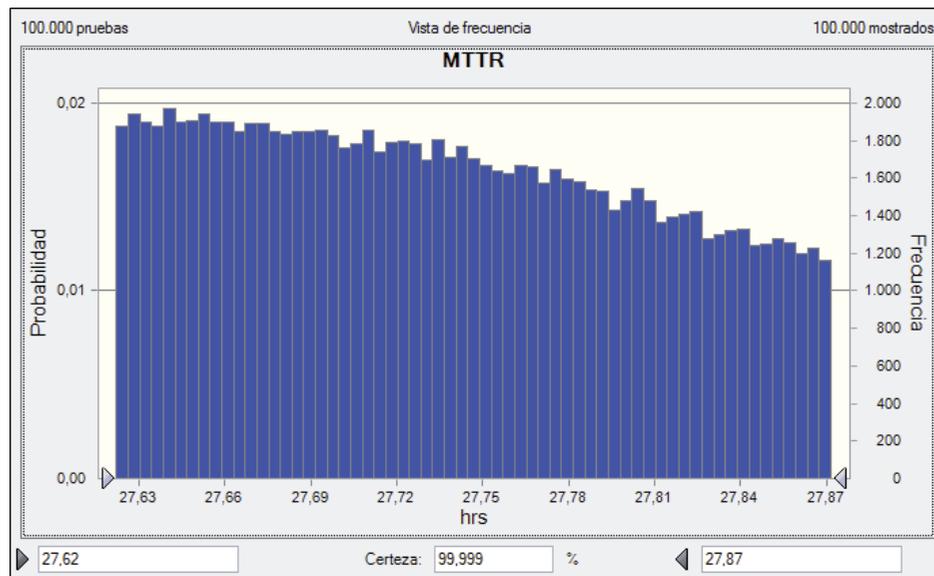


Fig. 93 Resultados de la Variable de Salida “MTR”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo de Paradas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 10% menor.

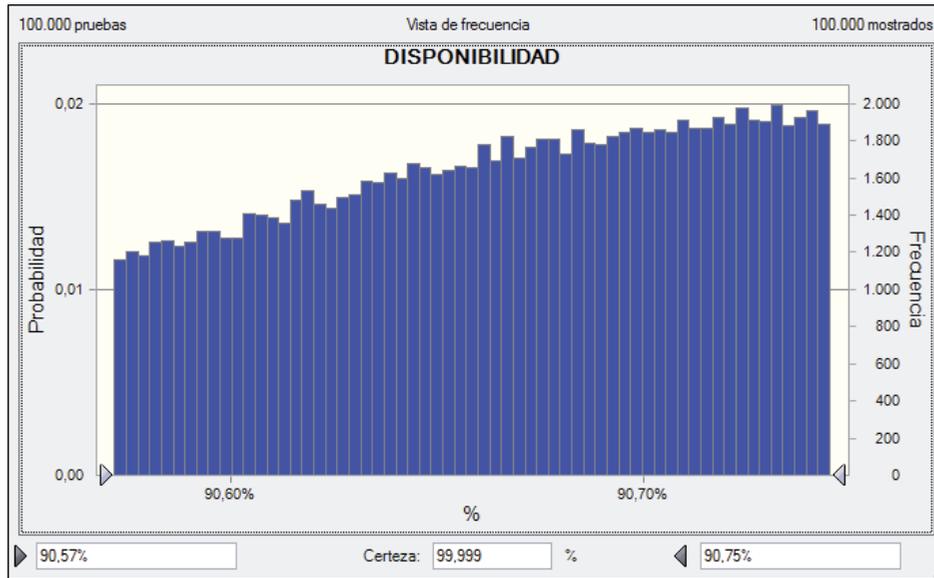


*Fig. 94 Resultados de la Variable de Salida “Disponibilidad”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo de Paradas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 10% menor.*

- 10%

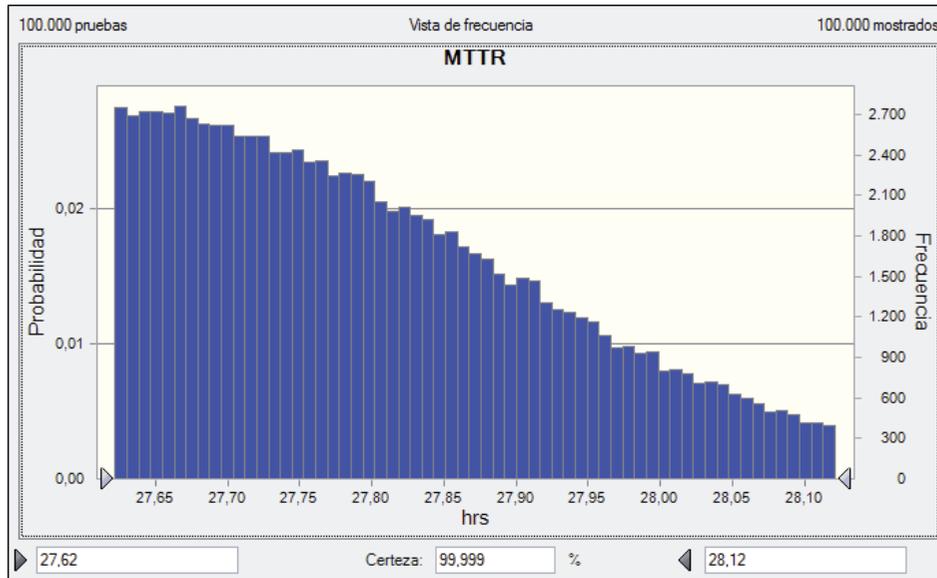


*Fig. 95 Resultados de la Variable de Salida “MTR”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo de Paradas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 10% mayor.*

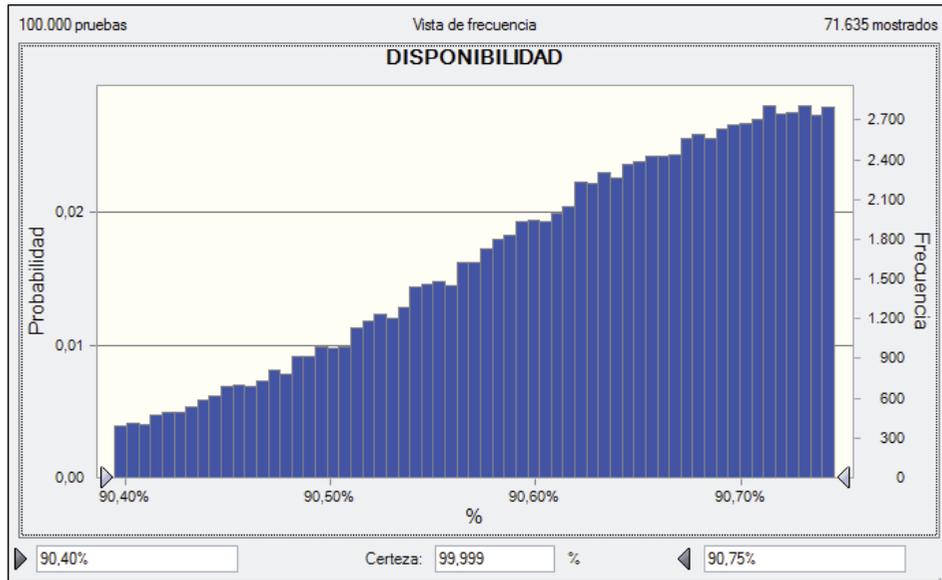


*Fig. 96 Resultados de la Variable de Salida “Disponibilidad”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo de Paradas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 10% mayor.*

- 20%



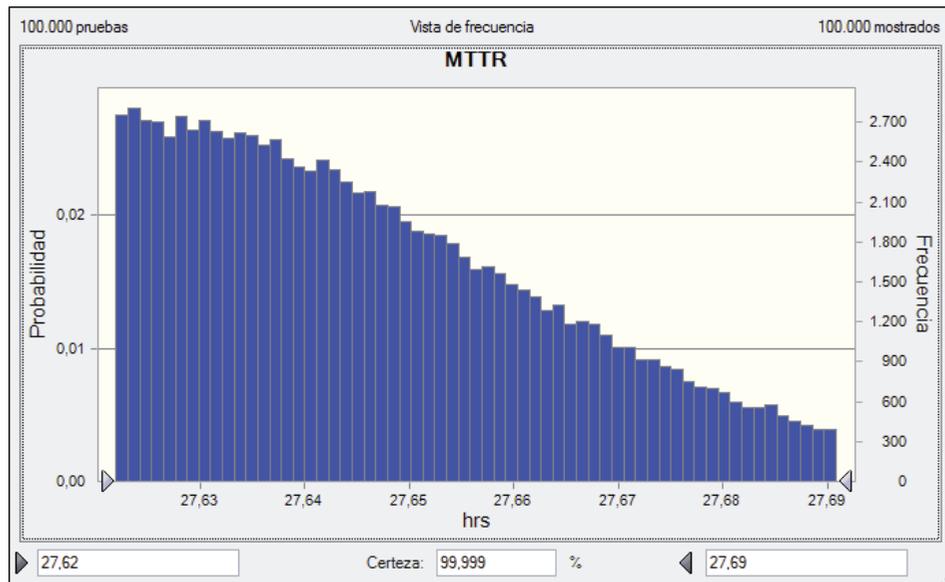
*Fig. 97 Resultados de la Variable de Salida “MTTR”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo de Paradas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 20% mayor.*



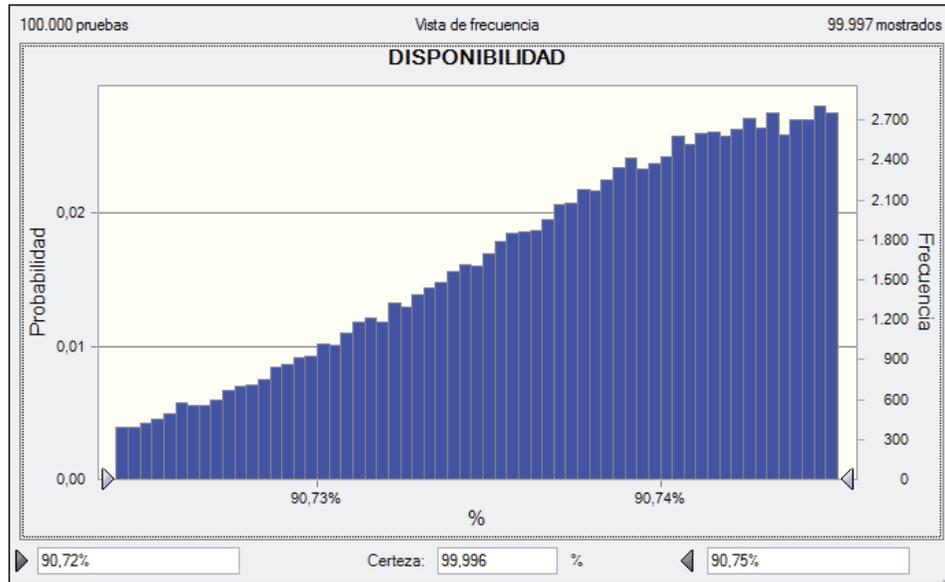
*Fig. 98 Resultados de la Variable de Salida “Disponibilidad”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo de Paradas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 20% mayor.*

Número de Paradas:

- -20%

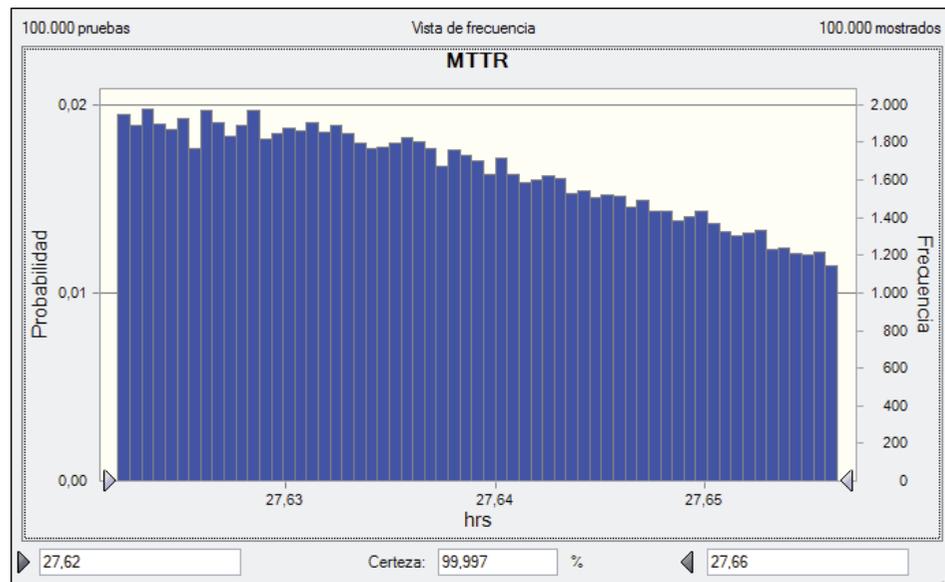


*Fig. 99 Resultados de la Variable de Salida “MTTR”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Número de Paradas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 20% menor.*

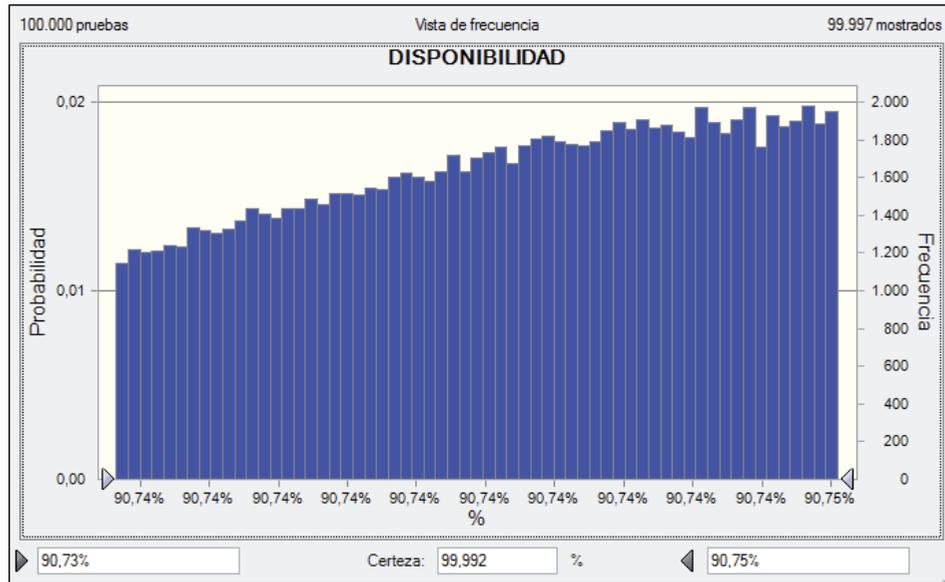


*Fig. 100 Resultados de la Variable de Salida “Disponibilidad”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Número de Paradas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 20% menor.*

- -10%

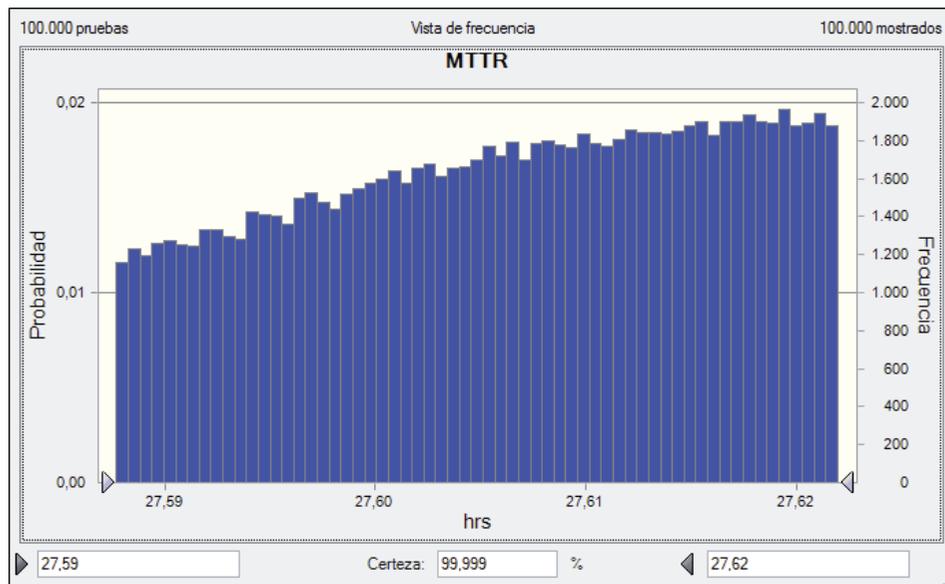


*Fig. 101 Resultados de la Variable de Salida “MTTR”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Número de Paradas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 10% menor.*

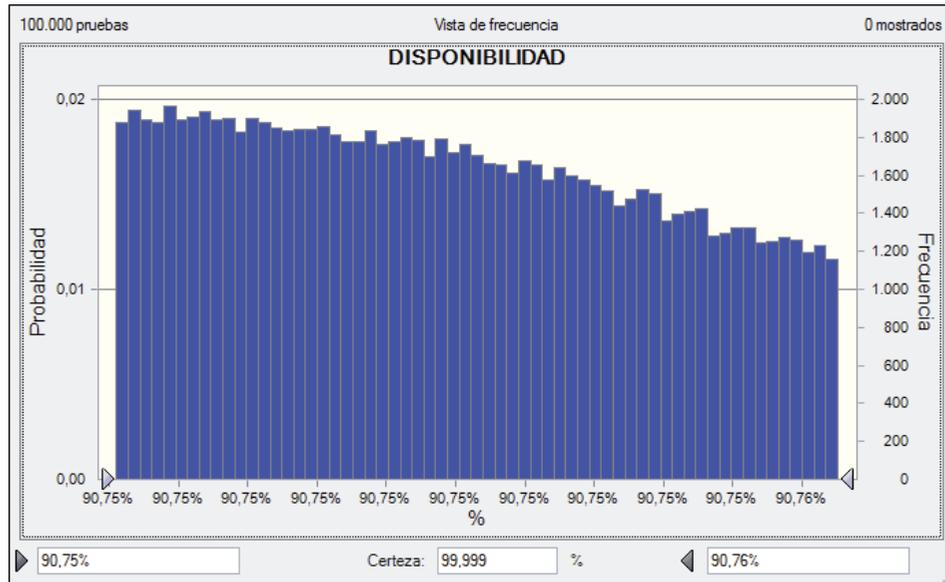


**Fig. 102** Resultados de la Variable de Salida “Disponibilidad”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Número de Paradas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 10% menor.

- 10%



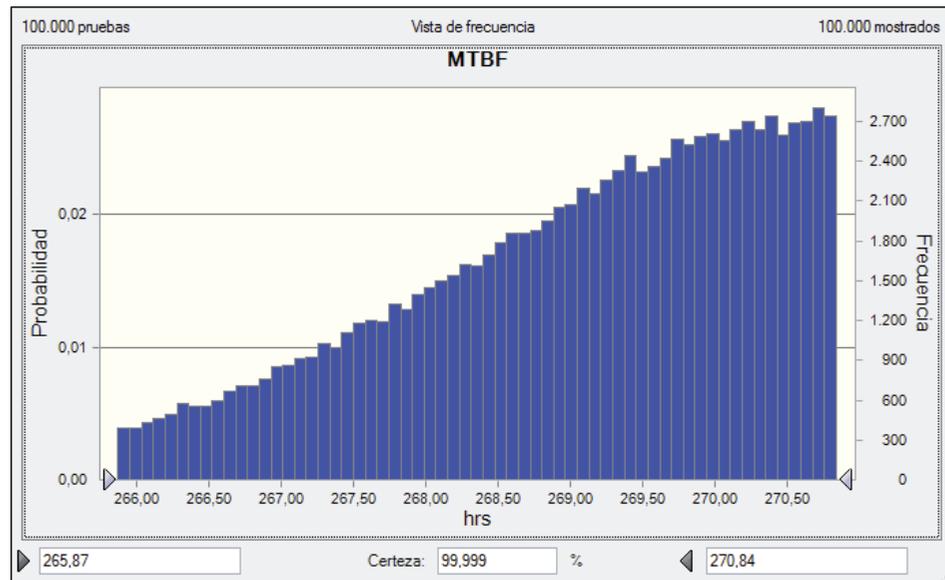
**Fig. 103** Resultados de la Variable de Salida “MTTR”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Número de Paradas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 10% mayor.



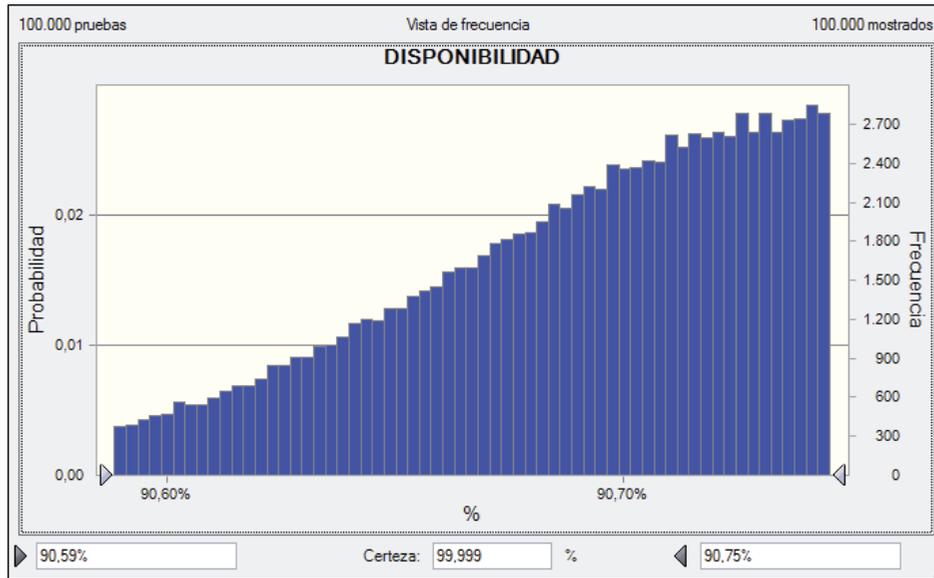
*Fig. 104 Resultados de la Variable de Salida “Disponibilidad”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Número de Paradas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 10% mayor.*

Tiempo Disponible:

- -20%

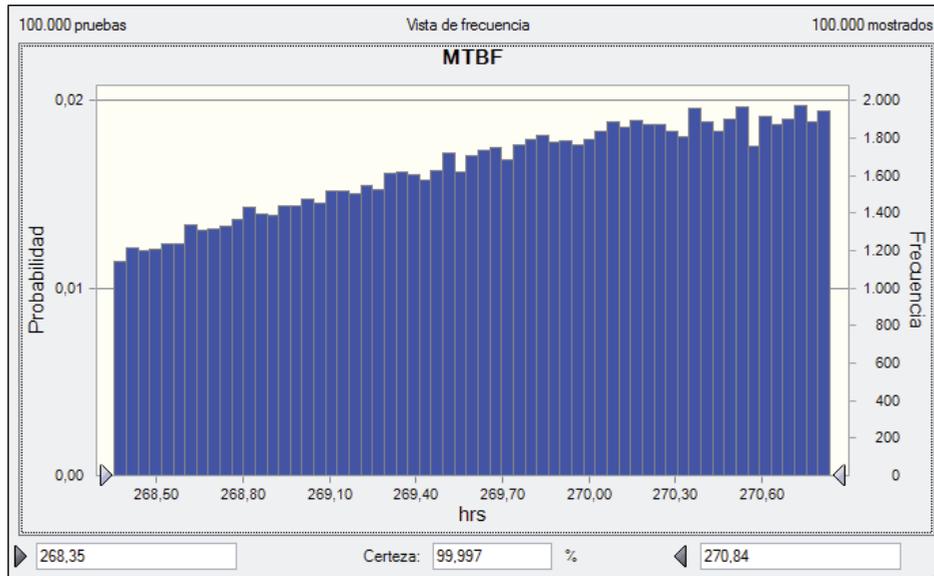


*Fig. 105 Resultados de la Variable de Salida “MTBF”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo Disponible” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 20% menor.*

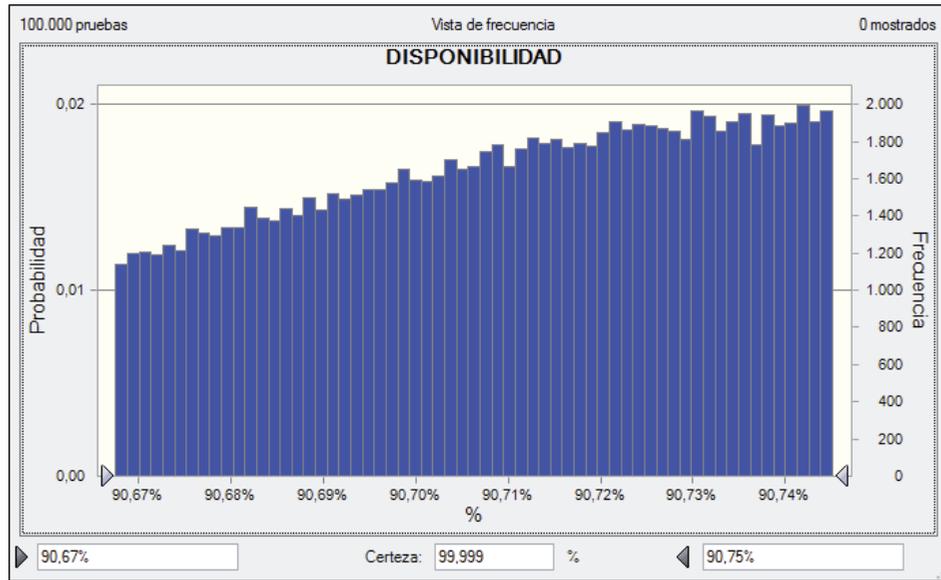


*Fig. 106 Resultados de la Variable de Salida “Disponibilidad”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo Disponible” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 20% menor.*

- -10%

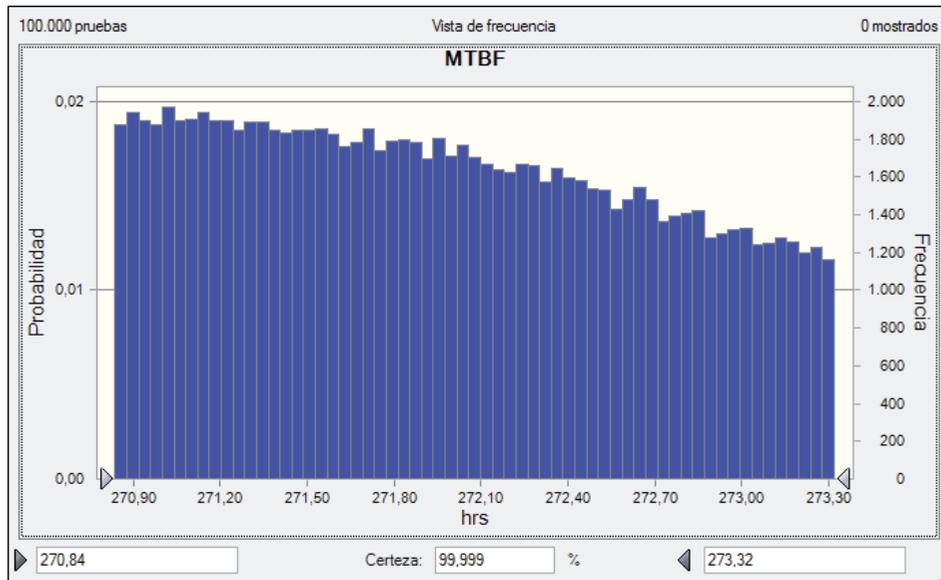


*Fig. 107 Resultados de la Variable de Salida “MTBF”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo Disponible” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 10% menor.*

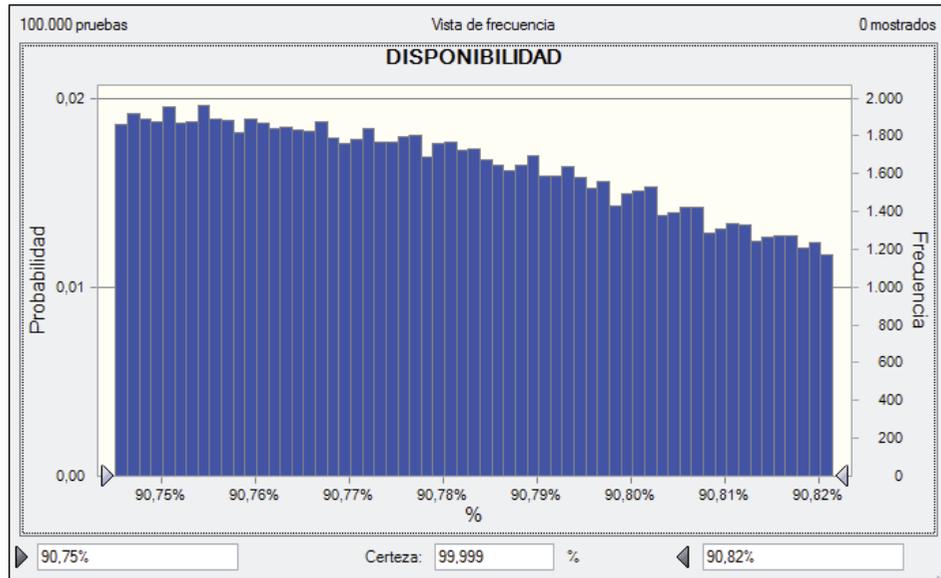


*Fig. 108 Resultados de la Variable de Salida “Disponibilidad”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo Disponible” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 10% menor.*

- 10%



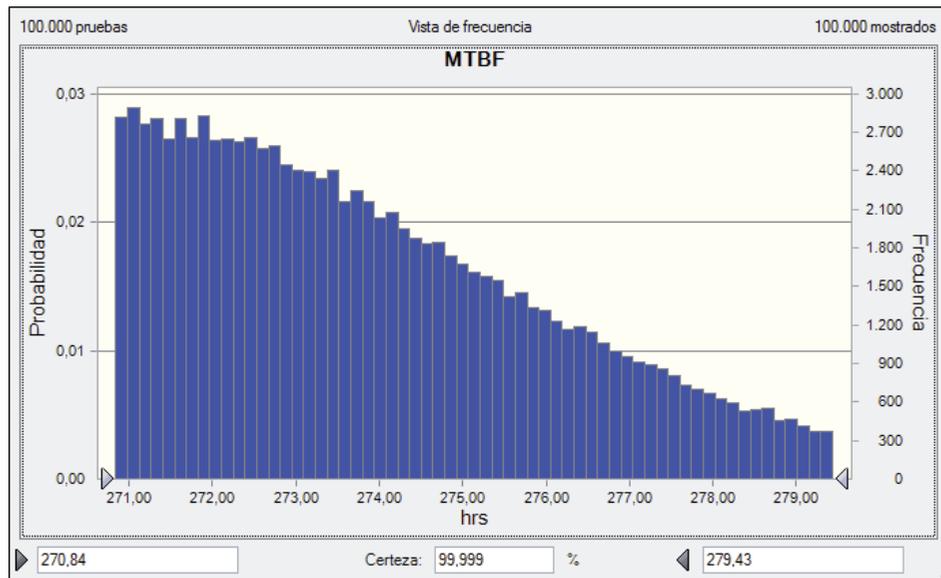
*Fig. 109 Resultados de la Variable de Salida “MTBF”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo Disponible” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 10% mayor.*



*Fig. 110 Resultados de la Variable de Salida “Disponibilidad”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo Disponible” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 10% mayor.*

Número de Fallas:

- -20%



*Fig. 111 Resultados de la Variable de Salida “MTBF”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Número de Fallas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 20% menor.*

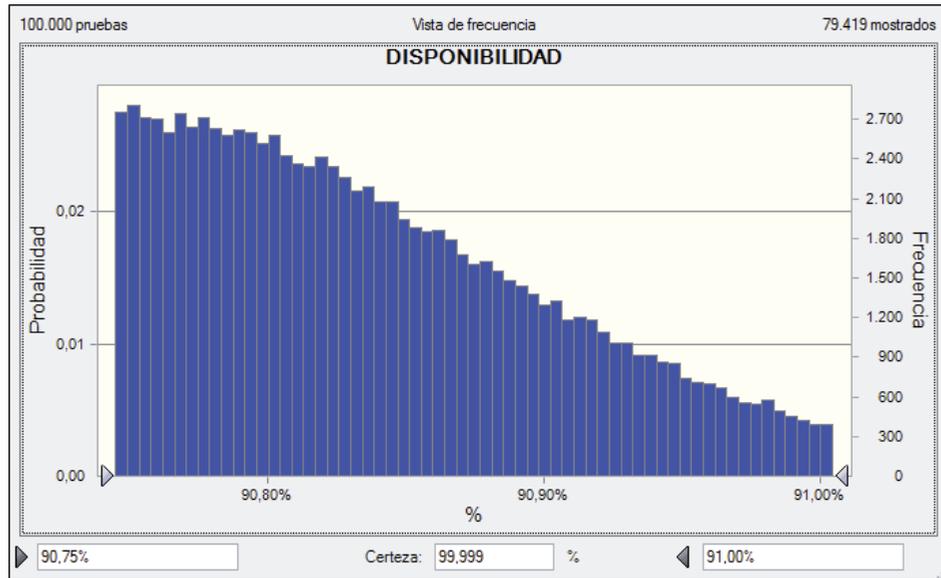


Fig. 112 Resultados de la Variable de Salida “Disponibilidad”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Número de Fallas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 20% menor.

- -10%

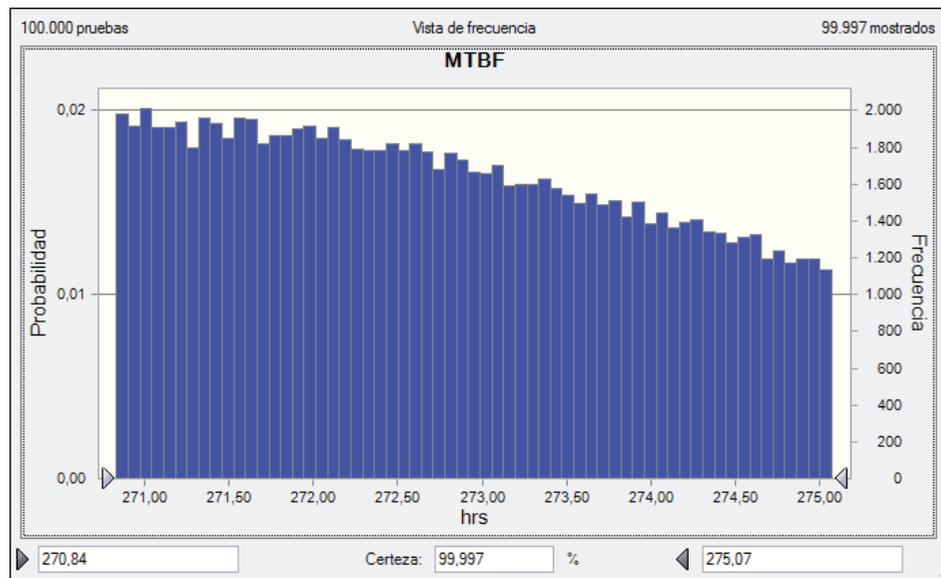
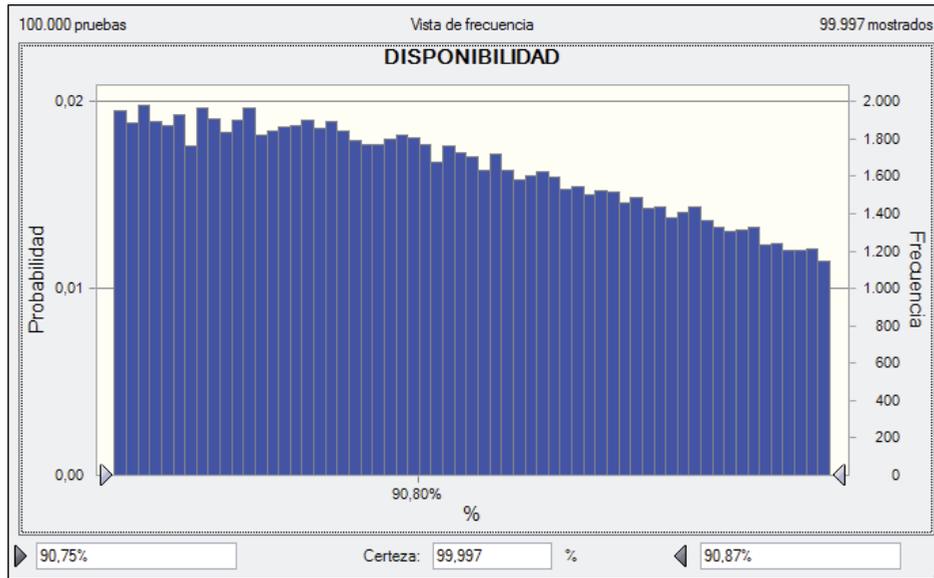
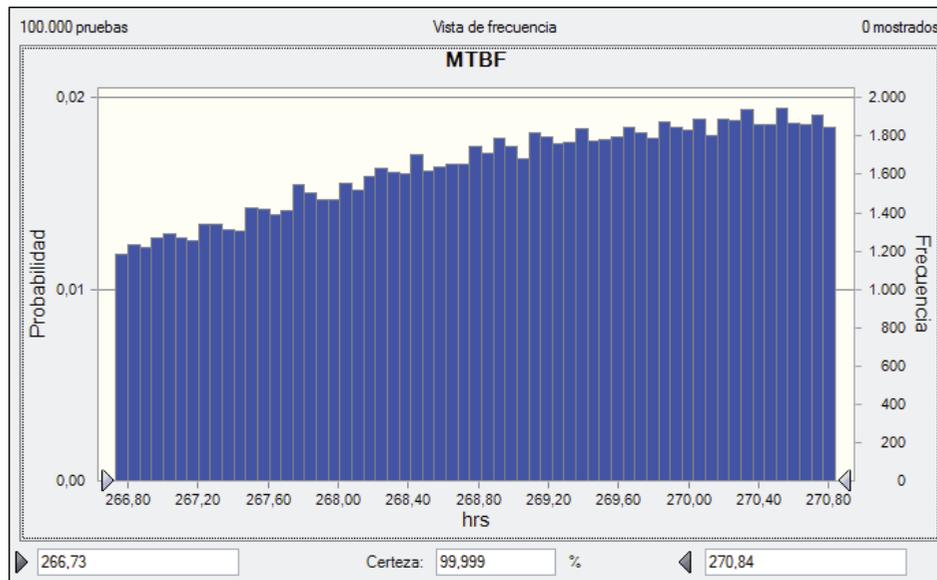


Fig. 113 Resultados de la Variable de Salida “MTBF”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Número de Fallas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 10% menor.

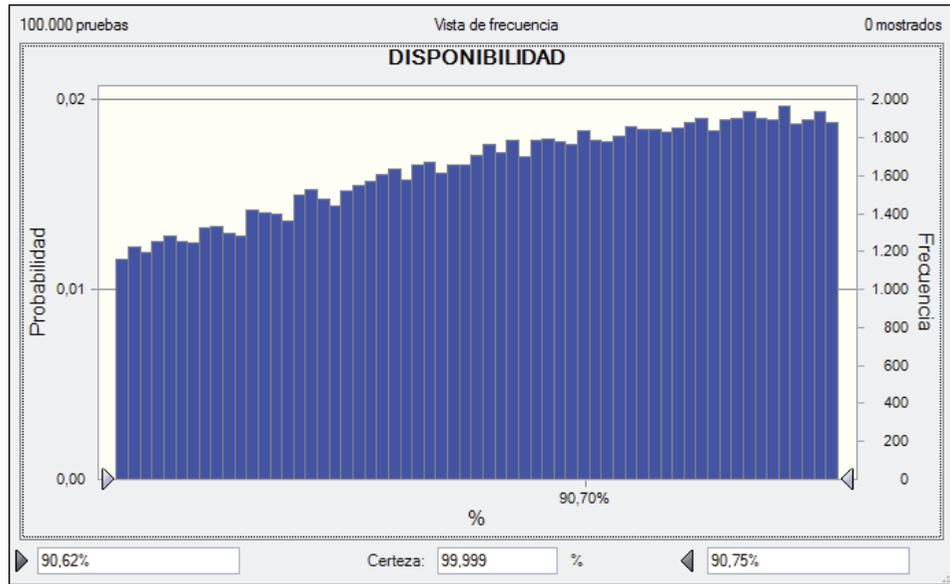


*Fig. 114 Resultados de la Variable de Salida “Disponibilidad”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Número de Fallas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 10% menor.*

- 10%



*Fig. 115 Resultados de la Variable de Salida “MTBF”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Número de Fallas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 10% mayor.*



*Fig. 116 Resultados de la Variable de Salida “Disponibilidad”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Número de Fallas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 10% mayor.*

## ANEXO VIII: Propuesta de estandarización de formato de pautas de mantenimiento

Existen diversos tipos de pautas utilizados en la Maestranza 1, Colón Alto. Si como administrador requiero contar con información clara y representativa en los sistemas de información, se hace necesario poder contar con un formato estándar de pautas de mantenimiento que abarque todo el parque de equipos. De esta manera no lleva a confusiones al mantenedor ni al programador, ya que toda actividad quedará registrada de la misma manera y en el mismo formato independiente del equipo en que se esté trabajando.

La figura 55 es la propuesta de un formato único para todas las pautas del área, el cual incluye el logo divisional, ubicación técnica, plan matriz, n° de orden, frecuencia de la pauta, equipo, fecha, horómetro, hora inicio, hora término, HH, obligaciones antes de comenzar la pauta, obligaciones después de terminar la pauta, repuestos con código, descripción y cantidad que requiere la mantención, observaciones y visto bueno del supervisor encargado.

	CORPORACIÓN NACIONAL DEL COBRE DE CHILE DIVISIÓN EL TENIENTE GERENCIA DE MINAS SUPERINTENDENCIA MANTENIMIENTO MINA UNIDAD FFCC TENIENTE 8 MAESTRANZA 1 PAUTA DE MANTENIMIENTO	UBICACION TECNICA: XXXX PLAN MATRIZ: XXXXX N° ORDEN: XXXXXXXX
---	---	--

**Pauta N Horas - EQUIPO**

Fecha: \_\_\_\_\_  
 Horómetro Equipo: \_\_\_\_\_  
 Especialidad Mantenimiento: \_\_\_\_\_  
 Nombre Mantenedores: \_\_\_\_\_  
 Hora Inicio Pauta: \_\_\_\_\_ Hora Término Pauta: \_\_\_\_\_  
 Horas Hombre Pauta: \_\_\_\_\_  
 Tiempo Detención Equipo: \_\_\_\_\_

**ANTES DE REALIZAR CUALQUIER LABOR**

A) Conozca y cumpla todos los procedimientos de seguridad y ambientales del área.  
 B) Un mantenedor debe registrar las labores realizadas al equipo. Indique las labores pendientes.  
 C) Un Jefe de Turno Teniente debe coordinar los movimientos con operaciones para disponer de la locomotora el tiempo previsto por la pauta.  
 D) Solicite histórico de falla.  
 E) Solicite reporte de labores realizadas en la última pauta.

**ACTIVIDADES**

**SISTEMA 1**

1 ( ) Actividad 1  
 2 ( ) Actividad 2  
 3 ( ) Actividad 3  
 4 ( ) Actividad 4  
 5 ( ) Actividad 5

**SISTEMA 2**

6 ( ) Actividad 6  
 7 ( ) Actividad 7  
 8 ( ) Actividad 8  
 9 ( ) Actividad 9  
 10 ( ) Actividad 10

**DESPUÉS DE REALIZAR CUALQUIER LABOR**

A) Verificar registro de labores realizadas y pendientes.  
 B) Si detecta reparaciones mayores o recambios informar al Jefe de Turno Teniente.

**REPUESTOS O MATERIALES PARA LA MANTENCION**

RESERVA	CODIGO	DESCRIPCION	CANTIDAD

**OBSERVACIONES**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

VºBº ENCARGADO: \_\_\_\_\_

FIRMA: \_\_\_\_\_

FECHA: \_\_\_\_\_

Fig. 117 Propuesta de formato único para pautas de mantenimiento en Maestranza 1, Colón Alto.

## INDICE DE FIGURAS

<i>Fig. 1 Organigrama de Gerencias, División El Teniente. Fuente: <a href="http://www.codelco.com/organigrama-division-el-teniente/prontus_codelco/2011-02-25/155019.html">http://www.codelco.com/organigrama-division-el-teniente/prontus_codelco/2011-02-25/155019.html</a> .....</i>	- 11 -
<i>Fig. 2 Organigrama de Superintendencias de la Gerencia de Minas, División El Teniente. Fuente: <a href="http://shpteapp.codelco.cl/sites/msmi/SitePages/Vision.aspx">http://shpteapp.codelco.cl/sites/msmi/SitePages/Vision.aspx</a> .....</i>	- 12 -
<i>Fig. 3 Organigrama de Unidades de la Superintendencia Mantenimiento, Gerencia de Minas, División El Teniente. Fuente: <a href="http://shpteapp.codelco.cl/sites/msmi/superintendencias/SMM/SitePages/default.aspx">http://shpteapp.codelco.cl/sites/msmi/superintendencias/SMM/SitePages/default.aspx</a> .....</i>	- 13 -
<i>Fig. 4 Layout Ferrocarril Teniente 8. Fuente: Google Maps (34°05'04.2"S 70°26'47.0"W) -</i>	- 14 -
<i>Fig. 5 Mantenimiento de Locomotora #661 en línea #11 Maestranza 1, Colón Alto. Mayo de 2014. ....</i>	- 32 -
<i>Fig. 6 Plano vistas lateral y frontal de Locomotora “NREC – 2GS-16B”. ....</i>	- 33 -
<i>Fig. 7 Ciclo de Mantenciones original Locomotoras “NREC – 2GS-16B”. ....</i>	- 34 -
<i>Fig. 8 Ciclo de Mantenciones propuesto Locomotoras “NREC – 2GS-16B”. ....</i>	- 35 -
<i>Fig. 9 Ubicaciones Técnicas en SAP de Locomotoras “NREC – 2GS-16B”. ....</i>	- 36 -
<i>Fig. 10 Diagrama de Pareto: Frecuencia de fallas por sistema de locomotora “NREC – 2GS-16B” #661. ....</i>	- 40 -
<i>Fig. 11 Diagrama de Pareto: Duración de fallas por sistema de locomotora “NREC – 2GS-16B” #661. ....</i>	- 41 -
<i>Fig. 12 Diagrama de Pareto: Costo de fallas por sistema de locomotora “NREC – 2GS-16B” #661. ....</i>	- 42 -
<i>Fig. 13 Diagrama de Pareto: Frecuencia de fallas por sistema de locomotora “NREC – 2GS-16B” #662. ....</i>	- 45 -
<i>Fig. 14 Diagrama de Pareto: Duración de fallas por sistema de locomotora “NREC – 2GS-16B” #662. ....</i>	- 47 -
<i>Fig. 15 Diagrama de Pareto: Costo de fallas por sistema de locomotora “NREC – 2GS-16B” #662. ....</i>	- 48 -
<i>Fig. 16 Resultados de la Variable de Salida “MTTR”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo de Paradas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 20% menor. ....</i>	- 64 -
<i>Fig. 17 Resultados de la Variable de Salida “Disponibilidad”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo de Paradas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 20% menor. ....</i>	- 64 -
<i>Fig. 18 Resultados de la Variable de Salida “MTTR”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Número de Paradas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 20% mayor. ....</i>	- 65 -
<i>Fig. 19 Resultados de la Variable de Salida “Disponibilidad”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Número de Paradas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 20% mayor. ....</i>	- 66 -

<i>Fig. 20 Variación de las variables de entrada “Tiempo de Paradas” y “Número de paradas” del Sistema Eléctrico y su efecto en la variable de salida “MTTR” de Locomotora 661. ...</i>	<i>67 -</i>
<i>Fig. 21 Resultados de la Variable de Salida “MTBF”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo Disponible” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 20% mayor. ....</i>	<i>68 -</i>
<i>Fig. 22 Resultados de la Variable de Salida “Disponibilidad”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo Disponible” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 20% mayor. ....</i>	<i>68 -</i>
<i>Fig. 23 Resultados de la Variable de Salida “MTBF”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Número de Fallas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 20% menor. ....</i>	<i>69 -</i>
<i>Fig. 24 Resultados de la Variable de Salida “Disponibilidad”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Número de Fallas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 20% menor. ....</i>	<i>70 -</i>
<i>Fig. 25 Variación de las variables de entrada “Tiempo Disponible” y “Número de Fallas” del Sistema Eléctrico y su efecto en la variable de salida “MTBF” de Locomotora 661. ...</i>	<i>71 -</i>
<i>Fig. 26 Variación de las variables de entrada “Tiempo de Paradas”, “Número de Paradas”, “Tiempo Disponible” y “Número de Fallas” del Sistema Eléctrico y su efecto en la variable de salida “Disponibilidad” de Locomotora 661. ....</i>	<i>72 -</i>
<i>Fig. 27 Resultados de la Variable de Salida “Disponibilidad”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo de Paradas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 20% menor. ....</i>	<i>73 -</i>
<i>Fig. 28 Resultados de la Variable de Salida “Disponibilidad”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo Disponible” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 20% mayor. ....</i>	<i>75 -</i>
<i>Fig. 29 Variación de las variables de entrada “Tiempo de Paradas” y “Tiempo Disponible” del Sistema Compresión y su efecto en la variable de salida “Disponibilidad” de Locomotora 661. ....</i>	<i>76 -</i>
<i>Fig. 30 Resultados de la Variable de Salida “MTTR”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo de Paradas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 20% menor. ....</i>	<i>78 -</i>
<i>Fig. 31 Resultados de la Variable de Salida “Disponibilidad”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo de Paradas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 20% menor. ....</i>	<i>78 -</i>
<i>Fig. 32 Resultados de la Variable de Salida “MTTR”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo de Paradas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 20% mayor. ....</i>	<i>79 -</i>
<i>Fig. 33 Resultados de la Variable de Salida “Disponibilidad”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo de Paradas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 20% mayor. ....</i>	<i>80 -</i>

<i>Fig. 34 Variación de las variables de entrada “Tiempo de Paradas” y “Número de paradas” del Sistema Control y Comando y su efecto en la variable de salida “MTTR” de Locomotora 661.</i>	- 81 -
<i>Fig. 35 Resultados de la Variable de Salida “MTBF”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo Disponible” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 20% mayor.</i>	- 82 -
<i>Fig. 36 Resultados de la Variable de Salida “Disponibilidad”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo Disponible” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 20% mayor.</i>	- 82 -
<i>Fig. 37 Resultados de la Variable de Salida “MTBF”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Número de Fallas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 20% menor.</i>	- 83 -
<i>Fig. 38 Resultados de la Variable de Salida “Disponibilidad”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Número de Fallas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 20% menor.</i>	- 84 -
<i>Fig. 39 Variación de las variables de entrada “Tiempo Disponible” y “Número de Fallas” del Sistema Control y Comando y su efecto en la variable de salida “MTBF” de Locomotora 661.</i>	- 85 -
<i>Fig. 40 Variación de las variables de entrada “Tiempo de Paradas”, “Número de Paradas”, “Tiempo Disponible” y “Número de Fallas” del Sistema Control y Comando y su efecto en la variable de salida “Disponibilidad” de Locomotora 661.</i>	- 86 -
<i>Fig. 41 Plantilla de suborden (Correctivas, MOPC o EQAC).</i>	- 92 -
<i>Fig. 42 Locomotora #655 en línea #14 Maestranza 1, Colón Alto. Mayo de 2014.</i>	- 112 -
<i>Fig. 43 Mantenimiento de locomotora #665 en línea #11 Maestranza 1, Colón Alto. Mayo de 2014.</i>	- 114 -
<i>Fig. 44 Mantenimiento de compactación de balasto en línea de producción, Mina El Teniente. Febrero de 2014.</i>	- 116 -
<i>Fig. 45 Foto panorámica del aspirador de balasto “Plasser&amp;Theurer – VM 250 S Jumbo”. Febrero de 2014.</i>	- 118 -
<i>Fig. 46 Ductos de aspiración del balasto contaminado “Plasser&amp;Theurer – VM 250 S Jumbo”. Febrero de 2014.</i>	- 118 -
<i>Fig. 47 Mantenimiento de vehículo ultrasonido de inspección vía “Sperry - 950 Series” en línea #11 Maestranza 1, Colón Alto. Mayo de 2014.</i>	- 120 -
<i>Fig. 48 Mantenimiento de limpiavías #535 en línea #12 Maestranza 1, Colón Alto. Mayo de 2014.</i>	- 121 -
<i>Fig. 49 Diagrama de Pareto: Frecuencia de fallas por sistema de locomotora “GM EMD – SW1200” #654 y #655.</i>	- 124 -
<i>Fig. 50 Diagrama de Pareto: Frecuencia de fallas por sistema de locomotora “GM EMD – SW1200” #663, #664 y #665.</i>	- 125 -
<i>Fig. 51 Diagrama de Pareto: Frecuencia de fallas por sistema de la bateadora “Plasser&amp;Theurer – 08-275 SP”.</i>	- 126 -

<i>Fig. 52 Diagrama de Pareto: Frecuencia de fallas por sistema del aspirador de balasto “Plasser&amp;Theurer – VM 250 S Jumbo”</i>	- 128 -
<i>Fig. 53 Diagrama de Pareto: Frecuencia de fallas por sistema del vehículo ultrasonido de inspección vía “Sperry – 950 Series”</i>	- 129 -
<i>Fig. 54 Diagrama de Pareto: Frecuencia de fallas por sistema del limpiavías “Rockloader Chesta”</i>	- 130 -
<i>Fig. 55 Resultados de la Variable de Salida “MTTR”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo de Paradas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 10% menor.</i>	- 140 -
<i>Fig. 56 Resultados de la Variable de Salida “Disponibilidad”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo de Paradas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 10% menor.</i>	- 141 -
<i>Fig. 57 Resultados de la Variable de Salida “MTTR”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo de Paradas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 10% mayor.</i>	- 141 -
<i>Fig. 58 Resultados de la Variable de Salida “Disponibilidad”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo de Paradas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 10% mayor.</i>	- 142 -
<i>Fig. 59 Resultados de la Variable de Salida “MTTR”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo de Paradas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 20% mayor.</i>	- 142 -
<i>Fig. 60 Resultados de la Variable de Salida “Disponibilidad”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo de Paradas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 20% mayor.</i>	- 143 -
<i>Fig. 61 Resultados de la Variable de Salida “MTTR”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Número de Paradas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 20% menor.</i>	- 143 -
<i>Fig. 62 Resultados de la Variable de Salida “Disponibilidad”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Número de Paradas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 20% menor.</i>	- 144 -
<i>Fig. 63 Resultados de la Variable de Salida “MTTR”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Número de Paradas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 10% menor.</i>	- 144 -
<i>Fig. 64 Resultados de la Variable de Salida “Disponibilidad”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Número de Paradas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 10% menor.</i>	- 145 -
<i>Fig. 65 Resultados de la Variable de Salida “MTTR”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Número de Paradas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 10% mayor.</i>	- 145 -
<i>Fig. 66 Resultados de la Variable de Salida “Disponibilidad”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Número de Paradas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 10% mayor.</i>	- 146 -

<i>Fig. 67 Resultados de la Variable de Salida “MTTR”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Número de Paradas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 20% mayor. ....</i>	<i>- 146 -</i>
<i>Fig. 68 Resultados de la Variable de Salida “Disponibilidad”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Número de Paradas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 20% mayor. ....</i>	<i>- 147 -</i>
<i>Fig. 69 Resultados de la Variable de Salida “MTBF”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo Disponible” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 20% menor. ....</i>	<i>- 147 -</i>
<i>Fig. 70 Resultados de la Variable de Salida “Disponibilidad”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo Disponible” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 20% menor. ....</i>	<i>- 148 -</i>
<i>Fig. 71 Resultados de la Variable de Salida “MTBF”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo Disponible” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 10% menor. ....</i>	<i>- 148 -</i>
<i>Fig. 72 Resultados de la Variable de Salida “Disponibilidad”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo Disponible” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 10% menor. ....</i>	<i>- 149 -</i>
<i>Fig. 73 Resultados de la Variable de Salida “MTBF”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo Disponible” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 10% mayor. ....</i>	<i>- 149 -</i>
<i>Fig. 74 Resultados de la Variable de Salida “Disponibilidad”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo Disponible” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 10% mayor. ....</i>	<i>- 150 -</i>
<i>Fig. 75 Resultados de la Variable de Salida “MTBF”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Número de Fallas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 10% menor. ....</i>	<i>- 150 -</i>
<i>Fig. 76 Resultados de la Variable de Salida “Disponibilidad”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Número de Fallas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 10% menor. ....</i>	<i>- 151 -</i>
<i>Fig. 77 Resultados de la Variable de Salida “MTBF”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Número de Fallas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 10% mayor. ....</i>	<i>- 151 -</i>
<i>Fig. 78 Resultados de la Variable de Salida “Disponibilidad”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Número de Fallas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 10% mayor. ....</i>	<i>- 152 -</i>
<i>Fig. 79 Resultados de la Variable de Salida “MTBF”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Número de Fallas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 20% mayor. ....</i>	<i>- 152 -</i>
<i>Fig. 80 Resultados de la Variable de Salida “Disponibilidad”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Número de Fallas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 20% mayor. ....</i>	<i>- 153 -</i>

<i>Fig. 81 Resultados de la Variable de Salida “MTTR”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo de Paradas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 10% menor. ....</i>	<i>- 153 -</i>
<i>Fig. 82 Resultados de la Variable de Salida “Disponibilidad”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo de Paradas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 10% menor. ....</i>	<i>- 154 -</i>
<i>Fig. 83 Resultados de la Variable de Salida “MTTR”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo de Paradas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 10% mayor. ....</i>	<i>- 154 -</i>
<i>Fig. 84 Resultados de la Variable de Salida “Disponibilidad”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo de Paradas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 10% mayor. ....</i>	<i>- 155 -</i>
<i>Fig. 85 Resultados de la Variable de Salida “MTTR”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo de Paradas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 20% mayor. ....</i>	<i>- 155 -</i>
<i>Fig. 86 Resultados de la Variable de Salida “Disponibilidad”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo de Paradas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 20% mayor. ....</i>	<i>- 156 -</i>
<i>Fig. 87 Resultados de la Variable de Salida “MTBF”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo Disponible” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 20% menor. ....</i>	<i>- 156 -</i>
<i>Fig. 88 Resultados de la Variable de Salida “Disponibilidad”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo Disponible” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 20% menor. ....</i>	<i>- 157 -</i>
<i>Fig. 89 Resultados de la Variable de Salida “MTBF”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo Disponible” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 10% menor. ....</i>	<i>- 157 -</i>
<i>Fig. 90 Resultados de la Variable de Salida “Disponibilidad”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo Disponible” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 10% menor. ....</i>	<i>- 158 -</i>
<i>Fig. 91 Resultados de la Variable de Salida “MTBF”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo Disponible” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 10% mayor. ....</i>	<i>- 158 -</i>
<i>Fig. 92 Resultados de la Variable de Salida “Disponibilidad”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo Disponible” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 10% mayor. ....</i>	<i>- 159 -</i>
<i>Fig. 93 Resultados de la Variable de Salida “MTTR”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo de Paradas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 10% menor. ....</i>	<i>- 159 -</i>
<i>Fig. 94 Resultados de la Variable de Salida “Disponibilidad”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo de Paradas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 10% menor. ....</i>	<i>- 160 -</i>

<i>Fig. 95 Resultados de la Variable de Salida “MTTR”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo de Paradas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 10% mayor. ....</i>	<i>- 160 -</i>
<i>Fig. 96 Resultados de la Variable de Salida “Disponibilidad”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo de Paradas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 10% mayor. ....</i>	<i>- 161 -</i>
<i>Fig. 97 Resultados de la Variable de Salida “MTTR”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo de Paradas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 20% mayor. ....</i>	<i>- 161 -</i>
<i>Fig. 98 Resultados de la Variable de Salida “Disponibilidad”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo de Paradas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 20% mayor. ....</i>	<i>- 162 -</i>
<i>Fig. 99 Resultados de la Variable de Salida “MTTR”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Número de Paradas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 20% menor. ....</i>	<i>- 162 -</i>
<i>Fig. 100 Resultados de la Variable de Salida “Disponibilidad”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Número de Paradas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 20% menor. ....</i>	<i>- 163 -</i>
<i>Fig. 101 Resultados de la Variable de Salida “MTTR”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Número de Paradas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 10% menor. ....</i>	<i>- 163 -</i>
<i>Fig. 102 Resultados de la Variable de Salida “Disponibilidad”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Número de Paradas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 10% menor. ....</i>	<i>- 164 -</i>
<i>Fig. 103 Resultados de la Variable de Salida “MTTR”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Número de Paradas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 10% mayor. ....</i>	<i>- 164 -</i>
<i>Fig. 104 Resultados de la Variable de Salida “Disponibilidad”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Número de Paradas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 10% mayor. ....</i>	<i>- 165 -</i>
<i>Fig. 105 Resultados de la Variable de Salida “MTBF”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo Disponible” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 20% menor. ....</i>	<i>- 165 -</i>
<i>Fig. 106 Resultados de la Variable de Salida “Disponibilidad”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo Disponible” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 20% menor. ....</i>	<i>- 166 -</i>
<i>Fig. 107 Resultados de la Variable de Salida “MTBF”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo Disponible” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 10% menor. ....</i>	<i>- 166 -</i>
<i>Fig. 108 Resultados de la Variable de Salida “Disponibilidad”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo Disponible” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 10% menor. ....</i>	<i>- 167 -</i>

<i>Fig. 109 Resultados de la Variable de Salida “MTBF”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo Disponible” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 10% mayor.</i>	- 167 -
<i>Fig. 110 Resultados de la Variable de Salida “Disponibilidad”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Tiempo Disponible” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 10% mayor.</i>	- 168 -
<i>Fig. 111 Resultados de la Variable de Salida “MTBF”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Número de Fallas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 20% menor.</i>	- 168 -
<i>Fig. 112 Resultados de la Variable de Salida “Disponibilidad”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Número de Fallas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 20% menor.</i>	- 169 -
<i>Fig. 113 Resultados de la Variable de Salida “MTBF”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Número de Fallas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 10% menor.</i>	- 169 -
<i>Fig. 114 Resultados de la Variable de Salida “Disponibilidad”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Número de Fallas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 10% menor.</i>	- 170 -
<i>Fig. 115 Resultados de la Variable de Salida “MTBF”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Número de Fallas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 10% mayor.</i>	- 170 -
<i>Fig. 116 Resultados de la Variable de Salida “Disponibilidad”, al asignar valores aleatorios a la variable de entrada “Número de Fallas” en un rango que fluctúa entre el valor inicial y un valor 10% mayor.</i>	- 171 -
<i>Fig. 117 Propuesta de formato único para pautas de mantenimiento en Maestranza 1, Colón Alto.</i>	- 172 -

## INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1 Hoja AMFEC para valoración de fallos.</i> .....	- 18 -
<i>Tabla 2 KPI indispensables del mantenimiento.</i> .....	- 21 -
<i>Tabla 3 Hoja AMFEC para prevención de fallos.</i> .....	- 30 -
<i>Tabla 4 Carga de trabajo teórica correspondiente a plan de mantenimiento creado en el software SAP para las locomotoras “NREC – 2GS-16B” #661 y #662.</i> .....	- 34 -
<i>Tabla 5 Carga de trabajo teórica propuesta, correspondiente al ciclo de mantenimiento modificado de las locomotoras “NREC – 2GS-16B” #661 y #662.</i> .....	- 35 -
<i>Tabla 6 Sistemas y ubicaciones técnicas creadas en el software SAP para locomotoras “NREC – 2GS-16B” #661 y #662.</i> .....	- 37 -
<i>Tabla 7 Sistemas críticos por frecuencia de fallas de locomotora “NREC – 2GS-16B” #661.</i> - 39 -	
<i>Tabla 8 Sistemas críticos por duración de fallas de locomotora “NREC – 2GS-16B” #661.</i> ... - 40 -	
<i>Tabla 9 Sistemas críticos por costo de fallas de locomotora “NREC – 2GS-16B” #661.</i> ... -	42 -
<i>Tabla 10 Sistemas críticos por frecuencia, duración y costo de fallas de locomotora “NREC – 2GS-16B” #661.</i> .....	- 43 -
<i>Tabla 11 Sistemas críticos por frecuencia de fallas de locomotora “NREC – 2GS-16B” #662.</i> .....	- 44 -
<i>Tabla 12 Sistemas críticos por duración de fallas de locomotora “NREC – 2GS-16B” #662.</i> .. - 46 -	
<i>Tabla 13 Sistemas críticos por costo de fallas de locomotora “NREC – 2GS-16B” #662.</i> -	47 -
<i>Tabla 14 Sistemas críticos por frecuencia, duración y costo de fallas de locomotora “NREC – 2GS-16B” #662.</i> .....	- 49 -
<i>Tabla 15 Definición de rangos de NPR aplicados a las locomotoras “NREC -2GS-16B” #661 y #662.</i> .....	- 50 -
<i>Tabla 16 Hoja AMFEC para valoración de fallos de locomotora “NREC – 2GS-16B” #661.</i> .. - 51 -	
<i>Tabla 17 Hoja AMFEC para valoración de fallos de locomotora “NREC – 2GS-16B” #662.</i> .. - 52 -	
<i>Tabla 18 Hoja AMFEC para prevención de fallos de locomotora “NREC – 2GS-16B” #661.</i> -	53 -
<i>Tabla 19 Hoja AMFEC para prevención de fallos de locomotora “NREC – 2GS-16B” #662.</i> -	54 -
<i>Tabla 20 Resumen de cambios propuestos en el contenido de pautas de mantenimiento locomotoras “NREC – 2GS-16B”</i> .....	- 56 -
<i>Tabla 21 Indicadores disponibles en SAP de locomotora 661, enero de 2013 a mayo de 2014.</i> - 57 -	
<i>Tabla 22 Indicadores disponibles en SAP de locomotora 662, enero de 2013 a mayo de 2014.</i> .....	- 58 -

<i>Tabla 23 N° de paradas y n° de fallas de locomotora 661, enero de 2013 a mayo de 2014.</i>	- 59
-	
<i>Tabla 24 N° de paradas y n° de fallas de locomotora 662, enero de 2013 a mayo de 2014.</i>	- 59
-	
<i>Tabla 25 Obtención de indicadores de mantenimiento de locomotora 661, enero de 2013 a mayo de 2014.</i>	- 60
<i>Tabla 26 Obtención de indicadores de mantenimiento de locomotora 662, enero de 2013 a mayo de 2014.</i>	- 61
<i>Tabla 27 Valores iniciales de las Variables de Salida de Locomotora 661</i>	- 62
<i>Tabla 28 Valores iniciales de las Variables de Entrada del Sistema Eléctrico.</i>	- 63
<i>Tabla 29 Cálculo del Tiempo de Paradas de acuerdo al Error Relativo Porcentual.</i>	- 63
<i>Tabla 30 Cálculo del Número de Paradas de acuerdo al Error Relativo Porcentual.</i>	- 65
<i>Tabla 31 Cálculo del Tiempo Disponible de acuerdo al Error Relativo Porcentual.</i>	- 67
<i>Tabla 32 Cálculo del Número de Fallas de acuerdo al Error Relativo Porcentual.</i>	- 69
<i>Tabla 33 Valores iniciales de las Variables de Entrada del Sistema Compresión.</i>	- 72
<i>Tabla 34 Cálculo del Tiempo de Paradas de acuerdo al Error Relativo Porcentual.</i>	- 73
<i>Tabla 35 Cálculo del Tiempo Disponible de acuerdo al Error Relativo Porcentual.</i>	- 74
<i>Tabla 36 Valores iniciales de las Variables de Entrada del Sistema Control y Comando.</i>	- 77
<i>Tabla 37 Cálculo del Tiempo de Paradas de acuerdo al Error Relativo Porcentual.</i>	- 77
<i>Tabla 38 Cálculo del Número de Paradas de acuerdo al Error Relativo Porcentual.</i>	- 79
<i>Tabla 39 Cálculo del Tiempo Disponible de acuerdo al Error Relativo Porcentual.</i>	- 81
<i>Tabla 40 Cálculo del Número de Fallas de acuerdo al Error Relativo Porcentual.</i>	- 83
<i>Tabla 41 Orden decreciente del efecto en las variables de salida, al simular las variables de entrada de sistemas críticos de Locomotora 661.</i>	- 87
<i>Tabla 42 Historial de fallas de locomotora 661, enero de 2010 a junio de 2014.</i>	- 98
<i>Tabla 43 Historial de fallas de locomotora 662, enero de 2010 a junio de 2014.</i>	- 100
<i>Tabla 44 Avisos de mantenimiento preventivo de locomotora 661, enero de 2013 a mayo de 2014.</i>	- 104
<i>Tabla 45 Avisos de mantenimiento correctivo (fallas) de locomotora 661, enero de 2013 a mayo de 2014.</i>	- 105
<i>Tabla 46 Avisos mantenimiento preventivo de locomotora 662, enero de 2013 a mayo de 2014.</i>	- 109
<i>Tabla 47 Avisos de mantenimiento correctivo (fallas) de locomotora 662, enero de 2013 a mayo de 2014.</i>	- 110
<i>Tabla 48 Carga de trabajo teórica correspondiente a plan de mantenimiento creado en el software SAP para las locomotoras “GM EMD – SW1200” #654 y #655.</i>	- 112
<i>Tabla 49 Carga de trabajo teórica corregida de las locomotoras “GM EMD – SW1200” #654 y #655.</i>	- 113
<i>Tabla 50 Carga de trabajo teórica correspondiente a plan de mantenimiento creado en el software SAP para las locomotoras “Schalke – Servicelokomotiven Codelco” #663, #664 y #665.</i>	- 115

<i>Tabla 51 Carga de trabajo teórica corregida de las locomotoras “Schalke – Servicelokomotiven Codelco” #663, #664 y #665.</i>	- 115 -
<i>Tabla 52 Carga de trabajo teórica correspondiente a plan de mantenimiento creado en el software SAP para la bateadora “Plasser&amp;Theurer – 08-275 SP”.</i>	- 117 -
<i>Tabla 53 Carga de trabajo teórica corregida de la bateadora “Plasser&amp;Theurer – 08-275 SP”.</i>	- 117 -
<i>Tabla 54 Carga de trabajo teórica correspondiente a plan de mantenimiento creado en el software SAP para el aspirador de balasto “Plasser&amp;Theurer – VM 250 S Jumbo”.</i>	- 119 -
<i>Tabla 55 Carga de trabajo teórica corregida del aspirador de balasto “Plasser&amp;Theurer – VM 250 S Jumbo”.</i>	- 119 -
<i>Tabla 56 Carga de trabajo teórica correspondiente a plan de mantenimiento creado en el software SAP para el vehículo de inspección vía “Sperry – 950 Series”.</i>	- 121 -
<i>Tabla 57 Carga de trabajo teórica correspondiente a plan de mantenimiento creado en el software SAP para el limpiavías “Rockloader Chesta”.</i>	- 122 -
<i>Tabla 58 Carga de trabajo teórica corregida del limpiavías “Rockloader Chesta”.</i>	- 122 -
<i>Tabla 59 Sistemas críticos por frecuencia de fallas de locomotora “GM EMD – SW1200” #654 y #655.</i>	- 123 -
<i>Tabla 60 Sistemas críticos por frecuencia de fallas de locomotora “Schalke – Servicelokomotiven Codelco” #663, #664 y #665.</i>	- 124 -
<i>Tabla 61 Sistemas críticos por frecuencia de fallas de la bateadora “Plasser&amp;Theurer – 08-275 SP”.</i>	- 126 -
<i>Tabla 62 Sistemas críticos por frecuencia de fallas del aspirador de balasto “Plasser&amp;Theurer – VM 250 S Jumbo”.</i>	- 127 -
<i>Tabla 63 Sistemas críticos por frecuencia de fallas del vehículo ultrasonido de inspección vía “Sperry – 950 Series”.</i>	- 128 -
<i>Tabla 64 Sistemas críticos por frecuencia de fallas del limpiavías “Rockloader Chesta”.</i>	- 130 -
-	
<i>Tabla 65 Continuación Hoja AMFEC para valoración de fallos de locomotora “NREC – 2GS-16B” #661.</i>	- 133 -
<i>Tabla 66 Continuación Hoja AMFEC para valoración de fallos de locomotora “NREC – 2GS-16B” #662.</i>	- 135 -
<i>Tabla 67 Continuación Hoja AMFEC para prevención de fallos de locomotora “NREC – 2GS-16B” #661.</i>	- 137 -
<i>Tabla 68 Continuación Hoja AMFEC para prevención de fallos de locomotora “NREC – 2GS-16B” #662.</i>	- 139 -