

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAISO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**“REESTRUCTURACIÓN DE LA POLÍTICA DE MANTENCIÓN DE GERDAU
RENCA, BASADA EN EL ANÁLISIS DE RIESGO DE OPERABILIDAD DE LOS
EQUIPOS LAMINADORES DE PERFILES”**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE:
INGENIERO CIVIL MECÁNICO

ALUMNO : NICOLÁS MESA NÚÑEZ
PROFESOR GUIA : SR. ORLANDO DURAN
SR. SERGIO SOTO

RESUMEN

El presente trabajo de titulación denominado “Reestructuración de la política de mantenimiento de Gerdau Renca, basada en el análisis de riesgo de operabilidad de los equipos laminadores de perfiles” pretende entregar la información necesaria para determinar la criticidad de todos los subequipos del laminador y con ello reestructurar la política de mantenimiento que tiene el laminador de perfiles Gerdau Renca. Para lograr lo anterior el autor de esta memoria diseño y elaboró un software en “Visual Basic” que entrega indicadores como confiabilidad, disponibilidad, tiempo medio de reparación, tasa de falla, gráficos, de manera actualizada con el objetivo de que el jefe de mantenimiento pueda tomar decisiones inmediatas en relación a la mantención de un subequipo.

Se iniciará con la introducción donde se abordará la relevancia de obtener estos indicadores actualizados y generar una nueva política de mantención. Posteriormente se darán a conocer antecedentes de la empresa, describiendo el proceso productivo, desde la fabricación del acero hasta la obtención de los distintos productos que ofrece Gerdau.

Luego se desarrollará la teoría del mantenimiento, repasando los tipos que existen, generalidades, entre otros. En el capítulo siguiente se dará a conocer el funcionamiento del software, los pasos a seguir para el ingreso de los datos, las consideraciones que se llevaron a cabo, los cálculos que desarrolla el software para la obtención de los resultados.

Luego, se evalúa la criticidad de todos los subequipos del laminador, obteniendo un valor representativo de ésta y se realiza una comparación con los indicadores que se obtuvieron del software. Por último, se da a conocer la reestructuración de mantenimiento que deberá implementarse en el laminador de perfiles para todos los subequipos, entregando conclusiones y recomendaciones.

INDICE GENERAL

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN.....	Pag. 13
1.1. Motivación.....	Pag. 13
1.2. Planteamiento del Problema.....	Pag. 14
1.3. Objetivos de la Memoria.....	Pag. 15
1.3.1. Objetivo General.....	Pag. 15
1.3.2. Objetivos Específicos.....	Pag. 15

CAPÍTULO II

2. ANTECEDENTES DE GERDAU S.A.....	Pag. 16
2.1. Ubicación.....	Pag. 16
2.2. Reseña Histórica Gerdau S.A.....	Pag. 16
2.3. Valores y Principios.....	Pag. 17
2.3.1. La visión.....	Pag. 17
2.3.2. La misión.....	Pag. 17
2.3.3. Valores.....	Pag. 17
2.4. Estructura Jerárquica de la Empresa.....	Pag. 18
2.5. Descripción Procesos Productivos Gerdau S.A.....	Pag. 19
2.5.1. Reciclaje.....	Pag. 19
2.5.2. Acería y su Proceso.....	Pag. 20
2.5.3. Proceso de Laminación.....	Pag. 24
2.6. Estructura de Mantenimiento Planta Laminación de Perfiles Renca.....	Pag. 28
2.6.1. Descripción General.....	Pag. 28
2.6.2. Método solución problemas de Gerdau.....	Pag. 29
2.6.3. Ejecución del Mantenimiento.....	Pag. 31

2.7. Descripción y Características de Zonas, Equipos Subequipos del Laminador de Perfiles Gerdau Renca.....	Pag. 31
2.7.1. Descripción Zona – Horno.....	Pag. 31
2.7.2. Descripción Zona – Desbaste.....	Pag. 32
2.7.3. Descripción Zona – Tren Medio.....	Pag. 33
2.7.4. Descripción Zona – Tren Acabador.....	Pag. 34
2.7.5. Descripción Zona – Parrilla Enfriamiento.....	Pag. 35
2.7.6. Descripción Zona – Empaquetado.....	Pag. 36
2.7.7. Descripción Zona – Utilidades.....	Pag. 37
2.7.8. Descripción Zona –Subestación Eléctrica.....	Pag. 37

CAPITULO III

3. MARCO TEORICO.....	Pag. 39
3.1. Mantenimiento.....	Pag. 39
3.1.1. Función del Mantenimiento.....	Pag. 39
3.1.2. Áreas de Mantenimiento.....	Pag. 40
3.1.3. Organización del mantenimiento.....	Pag. 40
3.1.4. Tipos y Niveles de Mantenimiento.....	Pag. 41
3.1.4.1. Mantenimiento Correctivo.....	Pag. 41
3.1.4.2. Mantenimiento Preventivo.....	Pag. 43
3.1.4.3. Mantenimiento Predictivo.....	Pag. 44
3.1.4.4. Control Administrativo.....	Pag. 45
3.2. Las fases de vida de la máquina.....	Pag. 48

3.3. Confiabilidad Operacional.....	Pag. 50
3.3.1. Herramientas de la Confiabilidad operacional.....	Pag. 52
3.3.1.1. Análisis de Criticidad.....	Pag. 52
3.3.1.2. Análisis de Modos y Efectos de falla (AMEF).....	Pag. 53
3.3.1.3. Análisis Causa Raíz.....	Pag. 53
3.3.1.4. Análisis Árbol de Fallas.....	Pag. 54
3.3.1.5. Método Optimización Costo Riesgo.....	Pag. 55
3.4. Obtención de la Mantenibilidad de un Sistema.....	Pag. 55
3.5. Disponibilidad de Componentes y Sistemas.....	Pag. 59
3.6. Costos Globales.....	Pag. 62
3.7. Análisis de redundancia.....	Pag. 95

CAPITULO IV

4. APLICACION SOFTWARE DE MANTENIMIENTO DE GERDAU Y HERRAMIENTAS DE CONFIABILIDAD OPERACIONAL.....	Pag. 66
4.1. Descripción General.....	Pag. 66
4.2. Criterios para Aplicación Software de Mantenimiento.....	Pag. 69
4.3. Análisis Funcionamiento del Software de Mantenimiento.....	Pag. 72
4.4. Análisis Resultados Software de Mantenimiento.....	Pag. 79
4.4.1. Gráfico Jack-Knife Zonas, Equipos y Subequipos Críticos.....	Pag. 79
4.4.2. Análisis Criticidad Subequipos del Laminador.....	Pag. 89
4.4.2.1. Frecuencia.....	Pag. 90
4.4.2.2. Consecuencia.....	Pag. 91
4.4.2.2.1. Factor Tiempo Detención.....	Pag. 92
4.4.2.2.2. Factor Costo Reparación.....	Pag. 92
4.4.2.2.3. Factor Impacto Seguridad.....	Pag. 92
4.4.2.2.4. Factor Impacto Ambiental.....	Pag. 93
4.4.2.3. Resultados Criticidad.....	Pag. 94

4.4.3. Análisis Confiabilidad, Disponibilidad y MTTR.....	Pag. 97
4.4.3.1. Confiabilidad Subequipos Críticos.....	Pag. 98
4.4.3.2. Disponibilidad Subequipos Críticos.....	Pag. 105
4.4.3.3. Tiempo Medio Reparación Subequipos Críticos.....	Pag. 107
4.4.4. Análisis de Modos y Efectos de Fallas Subequipos Críticos....	Pag. 108
4.4.4.1. Descripción Subequipo Crítico Mecanismo de Corte.....	Pag. 109
4.4.4.2. Descripción Subequipo Crítico Cajones.....	Pag. 111
4.4.4.3. Análisis Criticidad Componentes Subequipos.....	Pag. 113
4.4.4.3.1. Análisis Criticidad Componentes Mecanismo de Corte.....	Pag. 113
4.4.4.3.2. Análisis Criticidad Componentes Cajones.....	Pag. 114
4.4.4.4. Análisis Pareto a Componentes de Subequipos Críticos.....	Pag. 114
4.4.4.4.1. Análisis Pareto a Componentes de Mecanismo de Corte...	Pag. 115
4.4.4.4.2. Análisis Pareto a Componentes de Cajones.....	Pag. 116
4.4.4.5. Fallas Funcionales, Modos y Efectos de Fallas de Componentes Críticos.....	Pag. 117
4.4.4.5.1. Análisis Modo y Efectos de Fallas Componentes Críticos de Mecanismo Corte.....	Pag. 118
4.4.4.5.2. Análisis Modo y Efectos de Fallas Componentes Críticos de Cajones.....	Pag. 121

CAPITULO V

5. POLITICA DE MANTENIMIENTO Y PLAN DE MANTENCIÓN PARA GERDAU LAMINADOR RENCA.....	Pag. 122
5.1. Política Mantenimiento Subequipos del Laminador.....	Pag. 122
5.2. Plan de Mantención para Subequipos Críticos del Laminador....	Pag. 124

CAPITULO VI

6. COMPROBACION DATOS ENTREGADOS POR SOFTWARE DE MANTENIMIENTO.....	Pag. 127
---	----------

CAPITULO VII

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	Pag. 142
7.1. Conclusiones.....	Pag. 142
7.2. Recomendaciones.....	Pag. 143

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS	Pag. 145
---	----------

ANEXOS

Anexo 1: Tabla de Productos Finales.....	Pag. 148
Anexo 2: Esquema Zonas y sus Equipos del Laminador Gerdau Renca.....	Pag. 151
Anexo 3: Layout Laminador Gerdau Renca.....	Pag. 153
Anexo 4: Algoritmos más Importantes del Software de Mantenimiento.....	Pag. 155
Anexo 5: Índice Criticidad Subequipos Críticos, Semi Críticos y No Críticos.....	Pag. 162
Anexo 6: Tabla Costos Mantenimiento 2015.....	Pag. 176
Anexo 7: Planos Componentes Críticos de Cajones y Mecanismo de Corte.....	Pag. 178
Anexo 8: Política Mantenimiento Ideal Laminación Renca.....	Pag. 183
Anexo 9: Política Mantenimiento Actual Laminación Renca.....	Pag. 200
Anexo 10: Teoría de la Confiabilidad Aplicada a Sistemas.....	Pag. 203
Anexo 11: Manual Usuario Software de Mantenimiento.....	Pag. 228

INDICE ILUSTRACIONES

Ilustración 2-1: Organigrama jerárquico Gerdau S.A.....	Pag. 18
Ilustración 2-2: Acopio de chatarra en Laminador Colina, Gerdau.....	Pag. 19
Ilustración 2-3: Grúa electro-Imán tomando chatarra.....	Pag. 20
Ilustración 2-4: Deposito de chatarra sobre cesta.....	Pag. 20
Ilustración 2-5: Vaciado de chatarra desde cesta a horno de fundición.....	Pag. 21
Ilustración 2-6: Horno de inducción fundiendo la chatarra.....	Pag. 21
Ilustración 2-7: Vaciado el material fundido en carro cuchara.....	Pag. 22
Ilustración 2-8: Proceso de afino horno cuchara.....	Pag. 22
Ilustración 2-9: Proceso de colada continua.....	Pag. 23
Ilustración 2-10: Proceso de enfriamiento de palanquilla en molde...	Pag. 23
Ilustración 2-11: Proceso terminación de palanquilla.....	Pag. 24
Ilustración 2-12: Horno de recalentamiento Planta Colina, Planta Renca.....	Pag. 24
Ilustración 2-13: Proceso de Laminación rodillos verticales y horizontales.....	Pag. 25
Ilustración 2-14: Vista lateral proceso laminación.....	Pag. 25
Ilustración 2-15: Proceso de rollo de alambrón.....	Pag. 26
Ilustración 2-16: Proceso enfriamiento en parrilla.....	Pag. 26
Ilustración 2-17: Esquema desarrollo laminación Planta Renca.....	Pag. 27
Ilustración 2-18: Diagrama de Flujo del Proceso.....	Pag. 28
Ilustración 2-18: Ocho pasos de "G.S.P".....	Pag. 30
Ilustración 2-19: Zona - Horno.....	Pag. 32
Ilustración 2-20: Zona – Desbaste.....	Pag. 33
Ilustración 2-21: Zona – Tren medio.....	Pag. 34
Ilustración 2-22: Zona – Tren Acabador.....	Pag. 35

Ilustración 2-23: Zona – Parrilla Enfriamiento.....	Pag. 36
Ilustración 2-24: Zona – Empaquetado.....	Pag. 36
Ilustración 2-25: Zona – Utilidades.....	Pag. 37
Ilustración 2-26: Sala Eléctrica Laminación.....	Pag. 38
Ilustración 3-1: Organización Mantenimiento.....	Pag. 41
Ilustración 3.2: Evaluación típica de la tasa de fallas de una población.....	Pag. 48
Ilustración 3.3: Aspectos Fundamentales de la Confiabilidad Operacional.....	Pag. 51
Ilustración 3.4: Esquema Explicación TTR y TBF.....	Pag. 58
Ilustración 3.5: Curva de costos globales.....	Pag. 63
Ilustración 4.1: Diagrama de flujo funcionamiento Software.....	Pag. 68
Ilustración 4.2: Los 5 subequipos menos confiables.....	Pag. 98
Ilustración 4.3: Los 5 subequipos menos disponibles.....	Pag. 106
Ilustración 4.4: 3 mayores MTTR y MTTR de subequipos críticos.....	Pag. 108
Ilustración 4.5: Mecanismo de Corte.....	Pag. 110
Ilustración 4.6: Cuchillos Mecanismo de Corte.....	Pag. 111
Ilustración 4.7: Cajones.....	Pag. 112
Ilustración 4.8: Cilindro Hidráulico Cajones.....	Pag. 112
Ilustración 4.9: Soporte Pasador Cajones.....	Pag. 113

INDICE TABLAS

Tabla 4.1: Ejemplo de Ingreso de Datos.....	Pag. 72
Tabla 4.2: Ejemplo Calculo TTR y Fecha Actualización.....	Pag. 73
Tabla 4.3: Ejemplo Calculos a partir de Fecha Inicio y Terminó.....	Pag. 73
Tabla 4.4: Ejemplo Calculos Parámetros Weibull.....	Pag. 74
Tabla 4.5: Ejemplo Calculos MTTR y MTBF.....	Pag. 75
Tabla 4.6: Ejemplo Calculo Indicadores.....	Pag. 76
Tabla 4.7: Ejemplo Muestra 21 Tiempos.....	Pag. 77
Tabla 4.8: Valores Asignados Frecuencia de Fallas.....	Pag. 91
Tabla 4.9: Valores Factor Tiempo Detención.....	Pag. 92
Tabla 4.10: Valores Factor Costo Reparación.....	Pag. 92
Tabla 4.11: Valores Factor Impacto Seguridad.....	Pag. 93
Tabla 4.12: Valores Factor Impacto Ambiental.....	Pag. 93
Tabla 4.13: Los 10 subequipos más críticos según Análisis Critic.....	Pag. 96
Tabla 4.14: Criticidad Componentes Mecanismo de Corte.....	Pag. 113
Tabla 4.15: Criticidad Componentes Cajones.....	Pag. 114
Tabla 4.16: Tabla Pareto Componentes Mecanismo de Corte.....	Pag. 115
Tabla 4.17: Tabla Pareto Componentes Cajones.....	Pag. 116
Tabla 4.18: Modos y Efectos de Fallas Cuchillos.....	Pag. 118
Tabla 4.19: Modos y Efectos de Fallas Brazos.....	Pag. 119
Tabla 4.20: Modos y Efectos de Fallas Muelas.....	Pag. 120
Tabla 4.21: Modos y Efectos de Fallas Cajones.....	Pag. 121
Tabla 5.1: Política mantenimiento diez subequipos más críticos.....	Pag. 123
Tabla 5.2: Plan de Mantención Mecanismo de Corte.....	Pag. 125
Tabla 5.3: Plan de Mantención Preventivo Cajones.....	Pag. 126
Tabla 6.1: Interrupciones entre 25/11/2014 al 25/02/2015.....	Pag. 128
Tabla 6.2: Comparación Proyección y Realidad de 10 Subequipos..	Pag. 134

INDICE GRAFICOS

Gráfico 4.1: Ejemplo Grafico Recta de Regresión.....	Pag. 75
Gráfico 4.2: Ejemplo Grafico Jack Knife.....	Pag. 78
Gráfico 4.3: Gráfico Jack-Knife Zonas del Laminador.....	Pag. 80
Gráfico 4.4: Gráfico Jack-Knife Tren Acabador.....	Pag. 81
Gráfico 4.5: Gráfico Jack-Knife Parrilla.....	Pag. 82
Gráfico 4.6: Gráfico Jack-Knife Cizalla T3.....	Pag. 83
Gráfico 4.7: Gráfico Jack-Knife Parrilla Enfriamiento.....	Pag. 84
Gráfico 4.8: Gráfico Jack-Knife Cajones.....	Pag. 85
Gráfico 4.9: Gráfico Jack-Knife Cizalla T3 Disciplina Mecánica.....	Pag. 86
Gráfico 4.10: Gráfico Jack-Knife Cizalla T3 Disciplina Eléctrica.....	Pag. 86
Gráfico 4.11: Gráfico Jack-Knife Cizalla T3 Disciplina Electrónica.....	Pag. 87
Gráfico 4.12: Gráfico Jack-Knife Cajones Disciplina Mecánica.....	Pag. 88
Gráfico 4.13: Gráfico Jack-Knife Cajones Disciplina Eléctrica.....	Pag. 88
Gráfico 4.14: Gráfico Jack-Knife Cajones Disciplina Electrónica.....	Pag. 89
Gráfico 4.15: Comparación 10 subequipos más críticos.....	Pag. 96
Gráfico 4.16: Confiabilidad, probabilidad de falla y numero de fallas del Mecanismo de Corte.....	Pag. 100
Gráfico 4.17: Confiabilidad, probabilidad de falla y numero de fallas de Cajones.....	Pag. 101
Gráfico 4.18: Confiabilidad, probabilidad de falla y número de fallas de Mecanismo Corte (disciplina mecánica).....	Pag. 103
Gráfico 4.19: Confiabilidad, probabilidad de falla y número de fallas de Cajones (disciplina mecánica).....	Pag. 104
Gráfico 4.20: Grafico Pareto Mecanismo de Corte.....	Pag. 115
Gráfico 4.21: Grafico Pareto Cajones.....	Pag. 116
Gráfico 6.1: Estadística Funcionamiento Mecanismo de Corte.....	Pag. 129

Gráfico 6.2: Estadística Funcionamiento Cajones.....	Pag. 129
Gráfico 6.3: Estadística Funcionamiento Torre de Stand A6.....	Pag. 130
Gráfico 6.4: Estadística Funcionamiento Stand de Stand A6.....	Pag. 130
Gráfico 6.5: Estadística Funcionamiento Rodillos de Mesa Fija.....	Pag. 131
Gráfico 6.6: Estadística Funcionamiento Mecanismo de Levante.....	Pag. 131
Gráfico 6.7: Estadística Funcionamiento Cadenas de Transferidor...	Pag. 132
Gráfico 6.8: Estadística Funcionamiento Impulsor 7mo Pase...	Pag. 132
Gráfico 6.9: Estadística Funcionamiento Motor de Sistema Motriz....	Pag. 133
Gráfico 6.10: Estadística Funcionamiento Acoplamiento Motor/Reductor.....	Pag. 133

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Motivación

En la actualidad, las empresas deben poseer una visión y un enfoque global que vinculen todas las actividades interrelacionadas con el ámbito de la producción. Esta relación se ha vuelto más evidente en la empresa moderna, en la cual se reconoce que toda función es dependiente de otra, siendo valorada cada una de ellas participando de un conjunto de actividades complementarias encaminadas a lograr los estándares requeridos de productividad y calidad en los sistemas productivos.

Una de las funciones importantes que debe llevar a cabo cada empresa es la **mantención**, que tiene como objetivo conservar y valorizar los bienes que constituyen el patrimonio activo fijo de una empresa. Los objetivos generales son conservar el patrimonio de maquinarias e instalaciones durante toda su vida útil, garantizando su capacidad de producir bienes y servicios según las condiciones establecidas. La **mantención** debe asegurar, además, el mejoramiento permanente orientado a eliminar los puntos críticos de las maquinarias e instalaciones y a reducir los costos de **mantención**. La actividad de **mantención** debe llevarse a cabo respetando la seguridad del personal y la protección del medio ambiente.

La **mantención** tiene como estrategia redactar un plan plurianual de **mantención**, que identifica los requerimientos de recursos, capacidades y herramientas necesarias para sostener la implementación del plan estratégico de la empresa, esto involucra, obtener una definición de los planes de **mantención**, de los estándares de trabajo y de los procedimientos operativos de ejecución de las actividades; una confección del presupuesto de **mantención**; una planificación y programación de las detenciones, prestando especial atención a la carga de recursos externos, a los requerimientos de materiales y de prestaciones externas; un control de presupuesto, para verificar la

marcha del empleo de recursos y los costos correspondientes; y un mejoramiento continuo.

Es importante destacar que la estrategia del proceso de mantención se debe realizar de acuerdo con las estrategias de la empresa, del mismo modo que la evaluación del logro de los objetivos no puede sino efectuarse en consonancia con el logro de los objetivos de la empresa.

1.2. Planteamiento del Problema

Durante el proceso productivo de la planta de laminación Renca, se generan detenciones no programadas que afectan directamente a los indicadores de la empresa. Estas detenciones ocasionan que Gerdau deje de producir, generando un efecto en cadena que se debe tratar de disminuir al máximo.

Una detención imprevista genera un impedimento en la continuidad de la elaboración de los productos, afectando directamente los costos de la empresa, esto, porque durante esta detención la empresa dejará de obtener ingresos, aumentarán los costos de mantenimiento y además se retrasará un pedido, afectando directamente a los clientes.

Dicho lo anterior, una de las condiciones más indeseadas son los altos costos de mantenimiento que generan estas interrupciones. Los costos admisibles para mantener los equipos del laminador se miden en US\$ x Tonelada producida, por lo que un aumento en las detenciones no programadas generan una disminución en las toneladas producidas, y por lo tanto menor capital para poder mantener los equipos en óptimas condiciones.

Hoy, en el laminador no existe un sistema que arroje de manera actualizada indicadores que permitan jerarquizar la criticidad de todos los subequipos del

laminador, con el objetivo de poder reestructurar la política de mantenimiento, y poder decidir con mayor precisión a que subequipos se les debe generar un mantenimiento preventivo y/o predictivo para poder revertir las pérdidas en producción que este subequipo genera.

1.3. Objetivos de la Memoria

1.3.1. Objetivo General

Obtener de manera actualizada, con el apoyo de una herramienta de software específicamente creada por el autor de esta memoria, los indicadores necesarios para poder jerarquizar la criticidad de todos los subequipos del laminador, y a través de esta jerarquización reestructurar la política de mantenimiento de la planta de laminación de perfiles Gerdau Renca.

1.3.2. Objetivos Específicos

- a) Diseñar e implementar un software de fácil utilización que permita obtener información necesaria como gráficos e indicadores, que permitan al jefe de mantenimiento tomar decisiones acertadas con respecto a la mantención de los subequipos del laminador.
- b) Determinar los subequipos críticos del laminador, y con ello los equipos y zonas que generan mayores pérdidas para la empresa.
- c) Permitir comparar la confiabilidad, disponibilidad y el tiempo medio de reparación, antes y después de haber aplicado algún plan de mantenimiento nuevo, gracias a los antecedentes entregados.
- d) Lograr que a través de los antecedentes entregados, se pueda disminuir el costo de mantenimiento, conservando el perfil de la empresa que es entregar un producto de calidad y en los tiempos acordados.

CAPÍTULO II

2. ANTECEDENTES DE GERDAU S.A

2.1. Ubicación

Gerdau cuenta con dos plantas de laminación, Planta Colina, ubicada en Panamericana Norte N° 18.968, Colina, Santiago y Planta Renca, ubicada en La Unión 3070, Renca, Santiago. Además Gerdau contiene 3 centros de reciclaje, en Antofagasta, Concepción y Temuco.

2.2. Reseña Histórica Gerdau S.A

A mediados de 1950, la empresa Industrias Metalúrgicas AZA, creada por tres socios, Gustavo Alessandri, Esteban Zmiev y Ernesto Altamirano comenzó a comercializar productos de acero, iniciando con la elaboración de herraduras y ganchos para techumbres, y con el paso de los años fue incrementando su variedad de productos, y ya cerca de 1958, se inició la producción de barras planas laminadas en caliente.

La empresa, en 1963, se instala en La Unión 3070, comuna de Renca; dando origen a lo que hoy es la Planta de Laminación Renca, contando con el primer equipo de Colada Continua en el país, iniciando el proceso de producción de acero.

Mediante inversiones y mejoras, en el año 1992 es comprada por Gerdau S.A. Brasil, que es uno de los conglomerados de industrias siderúrgicas más importantes a nivel mundial de producción de acero.

La empresa empezó a realizar grandes inversiones para incrementar su producción, dentro de los cuales la más significativa fue la construcción de la planta de Colina, la

cual inicia su producción en el año 1999, incrementando su producción notablemente.

Hoy en día, la empresa Gerdau AZA es una de las empresas de reciclaje más importantes del país, en donde recolecta más de 230 mil toneladas de chatarra, la cual es fundida en un horno de inducción eléctrica que se encuentra en la planta de Colina.

Actualmente la compañía se encuentra en una etapa de consolidar sus logros y tiene como meta convertirse en un referente mundial en la fabricación de acero.

2.3. Valores y Principios

2.3.1. La visión

Ser una empresa siderúrgica global, entre las más rentables del sector.

2.3.2. La misión

El grupo Gerdau es una empresa enfocada en siderurgia, que busca satisfacer las necesidades de los clientes y crear valor para los accionistas, comprometida con la realización de las personas y el desarrollo sostenible de la sociedad.

2.3.3. Valores

- ✓ Cliente satisfecho
- ✓ Seguridad total en el ambiente de trabajo
- ✓ Personas comprometidas y realizadas

- ✓ Actitud emprendedora responsable
- ✓ Integridad
- ✓ Crecimiento y rentabilidad

2.4. Estructura Jerárquica de la Empresa

Gerdau cuenta con estructura jerárquica dividida en las siguientes categorías: en primer lugar se encuentra la gerencia general, seguido de las gerencias, posteriormente las jefaturas, subsiguientemente del staff, para terminar en el personal administrativo y los operadores. Haciendo referencia solo lo administrativo, existe una estructura de células operacionales, cada célula está compuesta por equipos que se organizan según su relación cliente/proveedor. En la *Ilustración 2-1* se aprecia el organigrama jerárquico de la empresa.

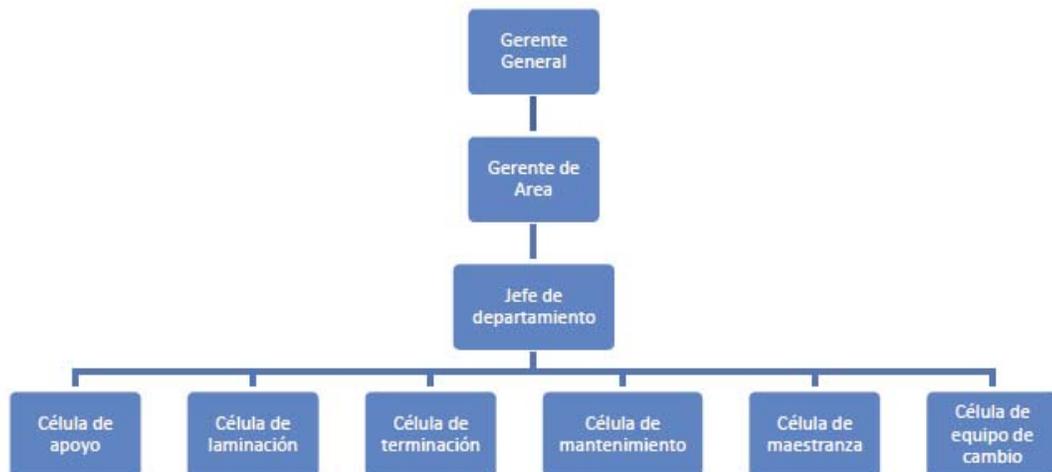


Ilustración 2-1: Organigrama jerárquico Gerdau S.A

Fuente: Gerdau S.A

2.5. Descripción Procesos Productivos Gerdau S.A

Actualmente Gerdau cuenta con dos plantas de producción, en donde solo en una de ellas se hace el proceso de selección y fundición del acero. A continuación se presenta el proceso productivo de ambas plantas, Laminador Colina y Laminador Renca, de manera continua.

2.5.1. Reciclaje

Gerdau cuenta con tres centros de acopios de chatarra en el país, Concepción, Antofagasta y Temuco, desde donde la chatarra es trasladada a la Planta de Colina, para allí hacer el proceso de selección y reducción de piezas grandes. Posteriormente el conjunto es llevado a un horno de inducción donde se funde la chatarra.



Ilustración 2-2: Acopio de chatarra en Laminador Colina, Gerdau S.A

Fuente: Gerdau S.A

2.5.2. Acería y su Proceso

- i. Una grúa electro-imán inicia el proceso, tomando la chatarra.

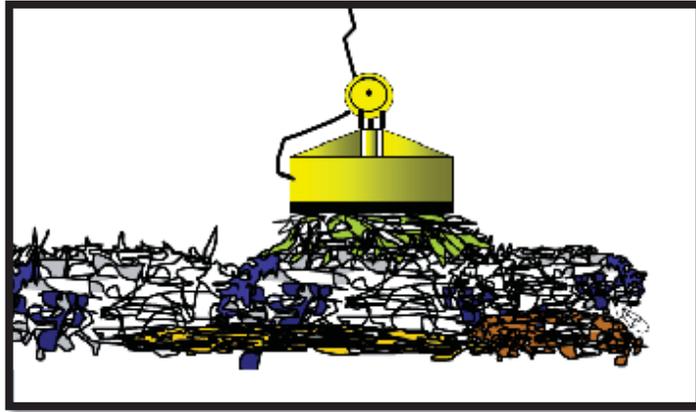


Ilustración 2-3: Grúa electro-Imán tomando chatarra.

Fuente: Gerdau S.A.

- ii. La grúa electro-imán transporta la chatarra hasta una cesta, donde deja caer todo el material sobre ella.

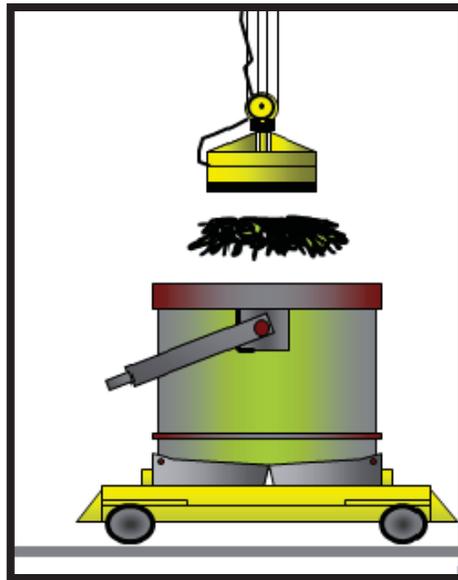


Ilustración 2-4: Deposito de chatarra sobre cesta.

Fuente: Gerdau S.A.

- iii. Posteriormente, se traslada desde la cesta hasta el horno de fundición donde se realiza el proceso de vaciado.

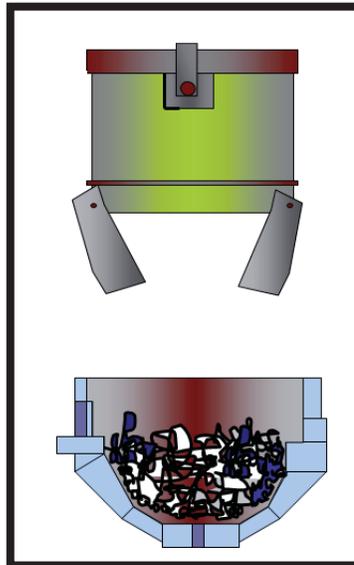


Ilustración 2-5: Vaciado de chatarra desde cesta a horno de fundición

Fuente: Gerdau S.A.

- iv. A continuación, una vez lleno el horno, se procede a cerrar en conjunto con 3 electrodos de grafito generando un arco eléctrico entre ellos provocando la fusión de la chatarra.

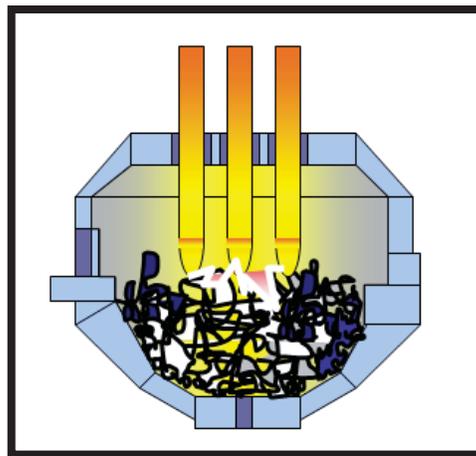


Ilustración 2-6: Horno de inducción fundiendo la chatarra

Fuente: Gerdau S.A

- v. Una vez que se haya fundido toda la chatarra, se agregan carburantes y ferro aleaciones cuyo objetivo es eliminar toda impureza presente en la fundición. Logrado el objetivo, la fundición es vaciada en un carro cuchara, que transportará el material hasta un horno de cuchara. El horno de cuchara se utiliza para refinar el acero fundido por medio de un horno de arco eléctrico, hogar abierto y convertidor.

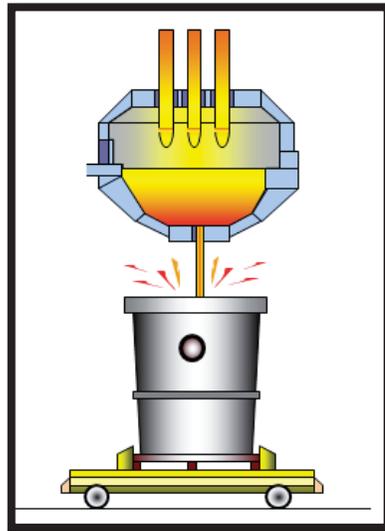


Ilustración 2-7: Vaciado del material fundido en carro cuchara.

Fuente: Gerdau S.A.

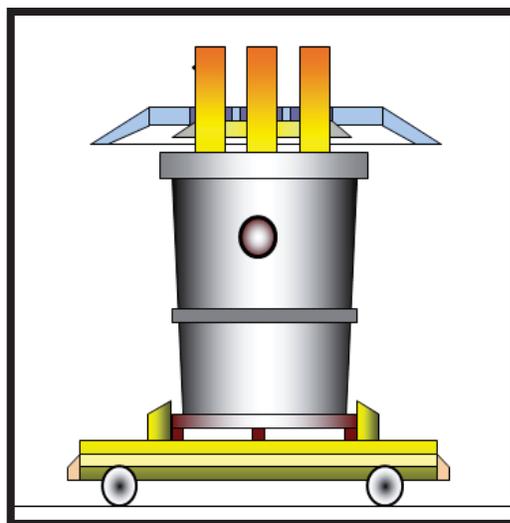


Ilustración 2-8: Proceso de afinado horno cuchara.

Fuente: Gerdau S.A

- vi. Para conseguir la calidad final se le agregan otras ferro aleaciones al acero, una vez obtenidas las propiedades finales se distribuye la fundición a un molde vertical, generando una barra de acero, llamada Palanquilla.

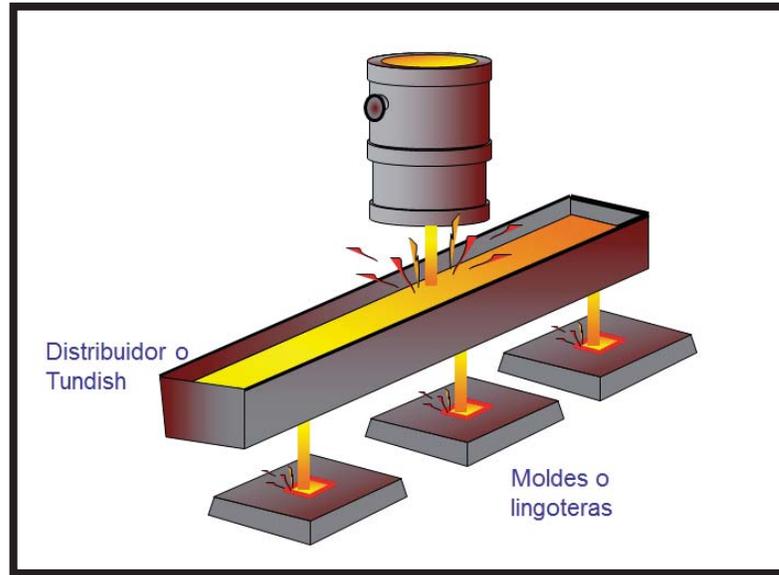


Ilustración 2-9: Proceso de colada continua.

Fuente: Gerdau S.A.

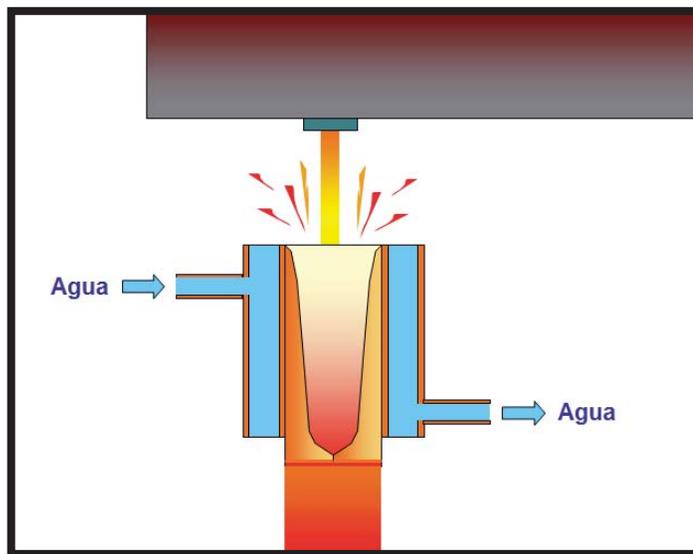


Ilustración 2-10: Proceso de enfriamiento de palanquilla en molde.

Fuente: Gerdau S.A

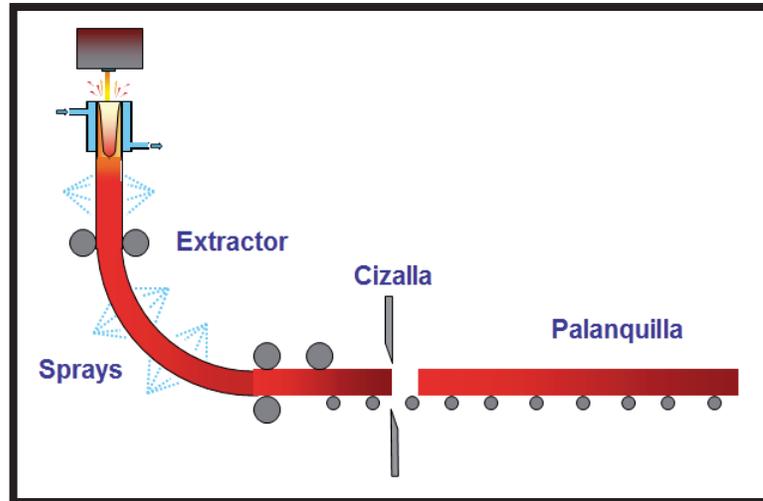


Ilustración 2-11: Proceso terminación de palanquilla

Fuente: Gerdau S.A.

2.5.3. Proceso de Laminación

Una vez que la palanquilla está completamente solidificada y tiene su forma final, es trasladada a los hornos de calentamiento que ambas plantas, Colina y Renca, tienen en sus procesos productivos. En esos hornos, las palanquillas son recalentadas hasta 1200°C, para permitir posteriormente la deformación de estas.

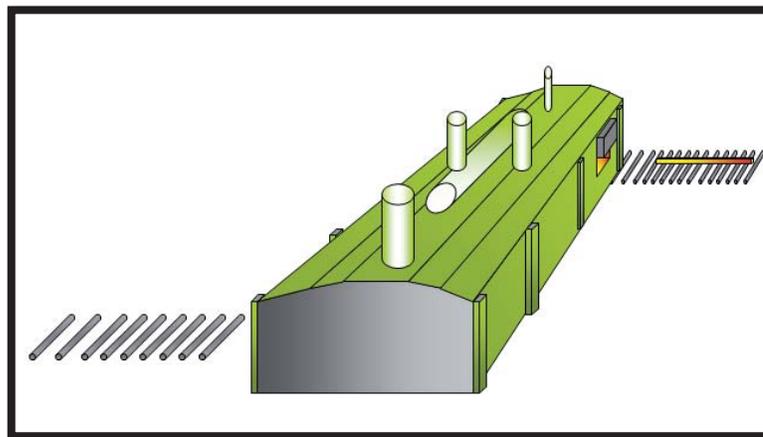


Ilustración 2-12: Horno de recalentamiento Planta Colina, Planta Renca.

Fuente: Gerdau S.A

Una vez que las palanquillas hayan sido recalentadas a 1200°C, salen del horno de recalentamiento para ser dirigidas al tren de desbaste donde se le realiza su primera reducción de sección, continuamente pasa el tren medio, donde a través de rodillos se le vuelve a reducir su sección, y posteriormente pasar al tren acabador donde se les da la forma final del producto que se desea obtener.

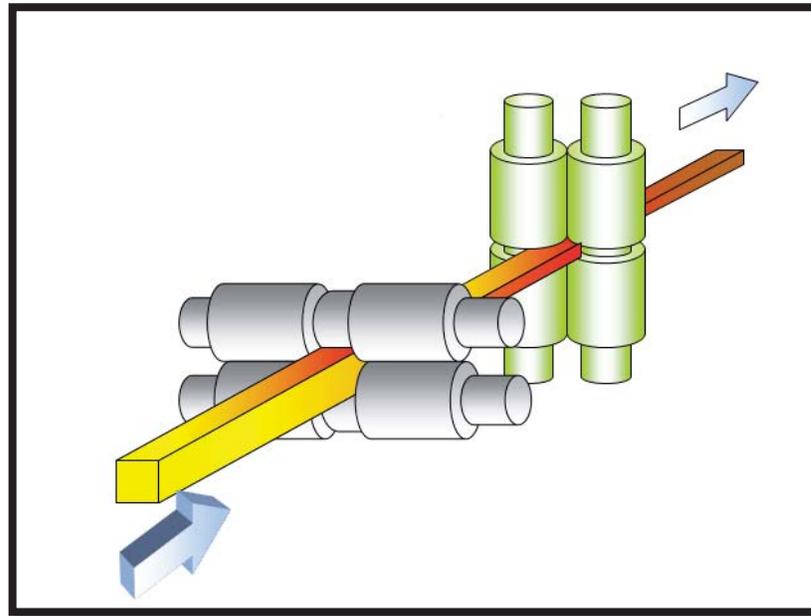


Ilustración 2-13: Proceso de Laminación rodillos verticales y horizontales

Fuente: Gerdau S.A.

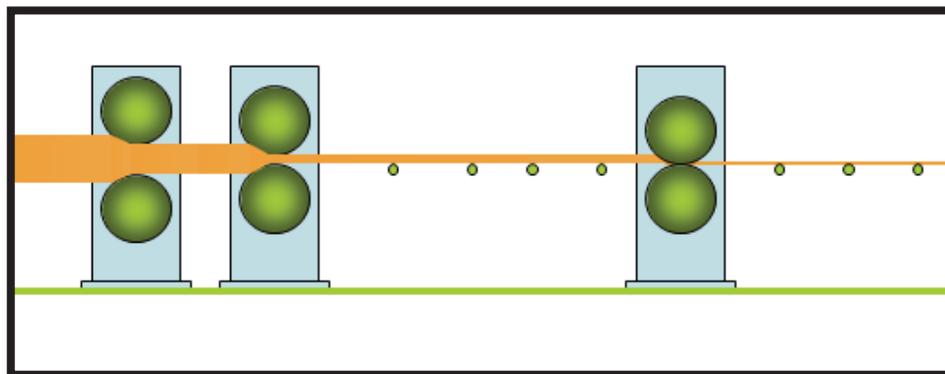


Ilustración 2-14: Vista lateral proceso laminación.

Fuente: Gerdau S.A

Ya el producto con su forma final, que pueden ser perfiles, barras planas, entre otros (Anexo 1), pasan a el sistema de enfriamiento normalizado, que es a través de una parrilla, donde se les da el tiempo necesario para que estos alcancen la temperatura ambiente. En el caso del producto hilos continuos (alambrón), pasan a un rodillo que rota hasta formar un rollo de alambrón.

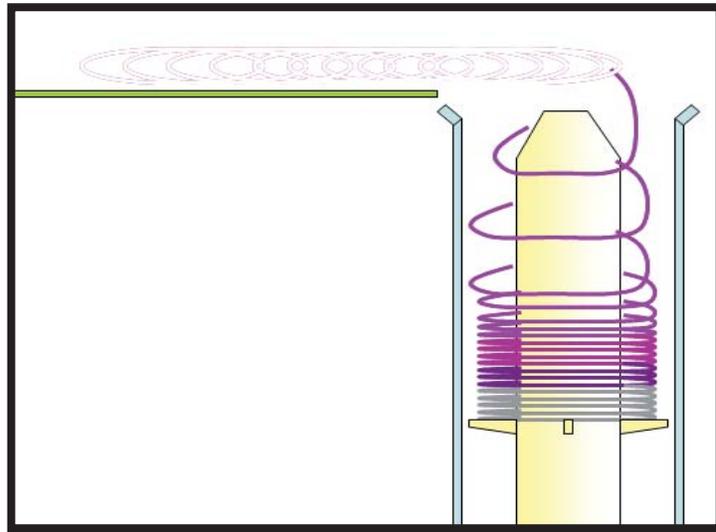


Ilustración 2-15: Proceso de rollo de alambrón.

Fuente: Gerdau S.A.

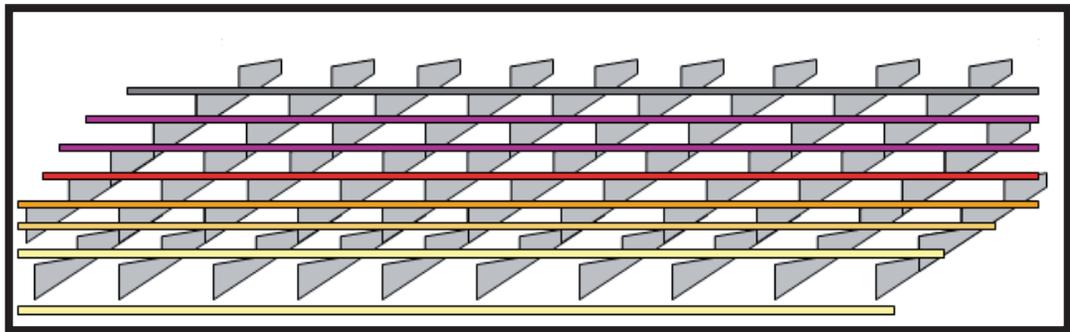


Ilustración 2-16: Proceso enfriamiento en parrilla.

Fuente: Gerdau S.A.

De lo anterior podemos concluir que el laminador de perfiles Renca, está compuesto por un horno de recalentamiento, un tren de desbaste, un tren medio, un tren

acabador, una parrilla en enfriamiento, la zona de empaquetado y el sector de terminación donde se terminan productos especial que el cliente desea. A continuación se muestra un esquema de funcionamiento del laminado y un diagrama de flujo del proceso.

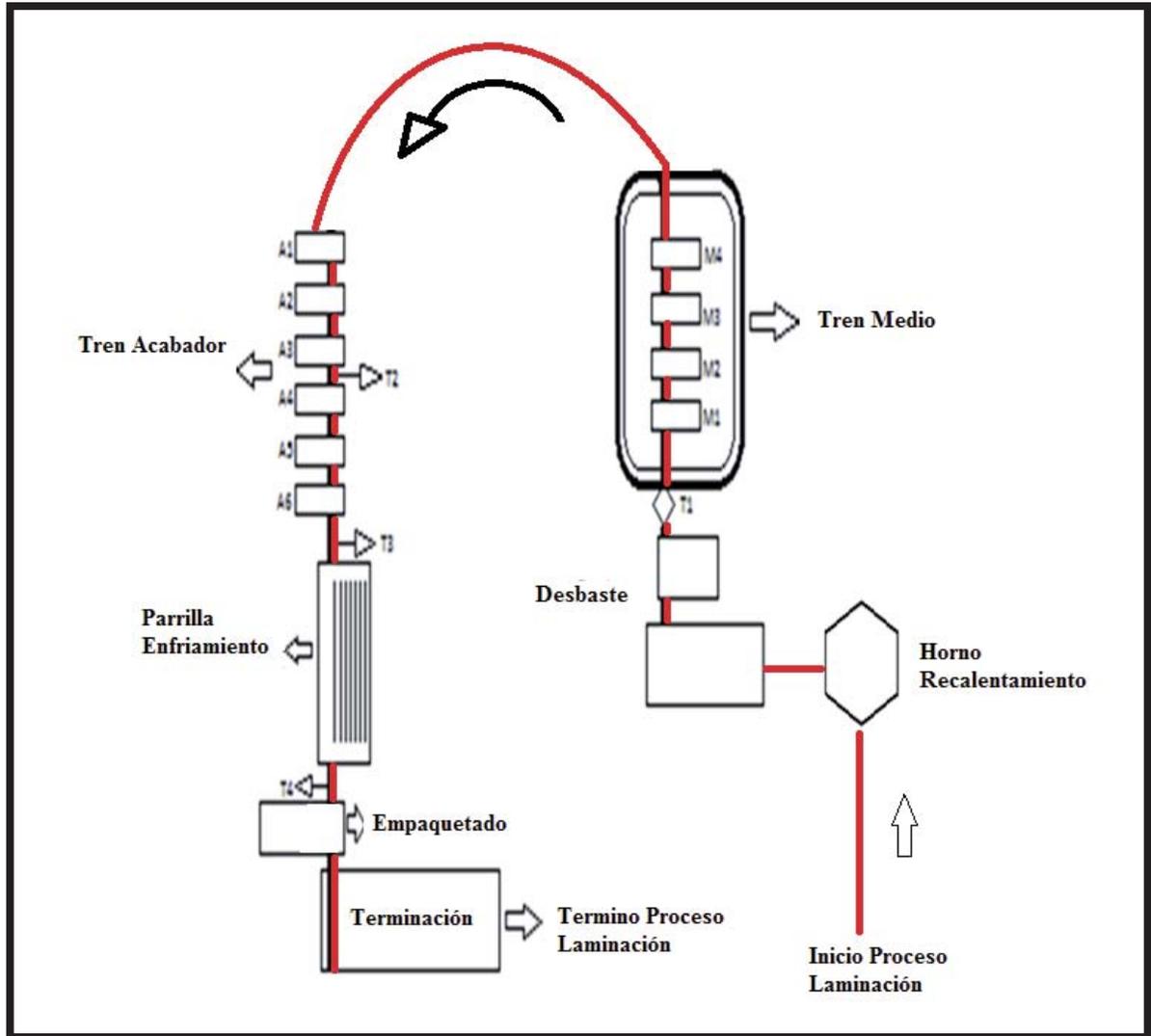


Ilustración 2-17: Esquema desarrollo laminación Planta Renca.

Fuente: Gerdau S.A.

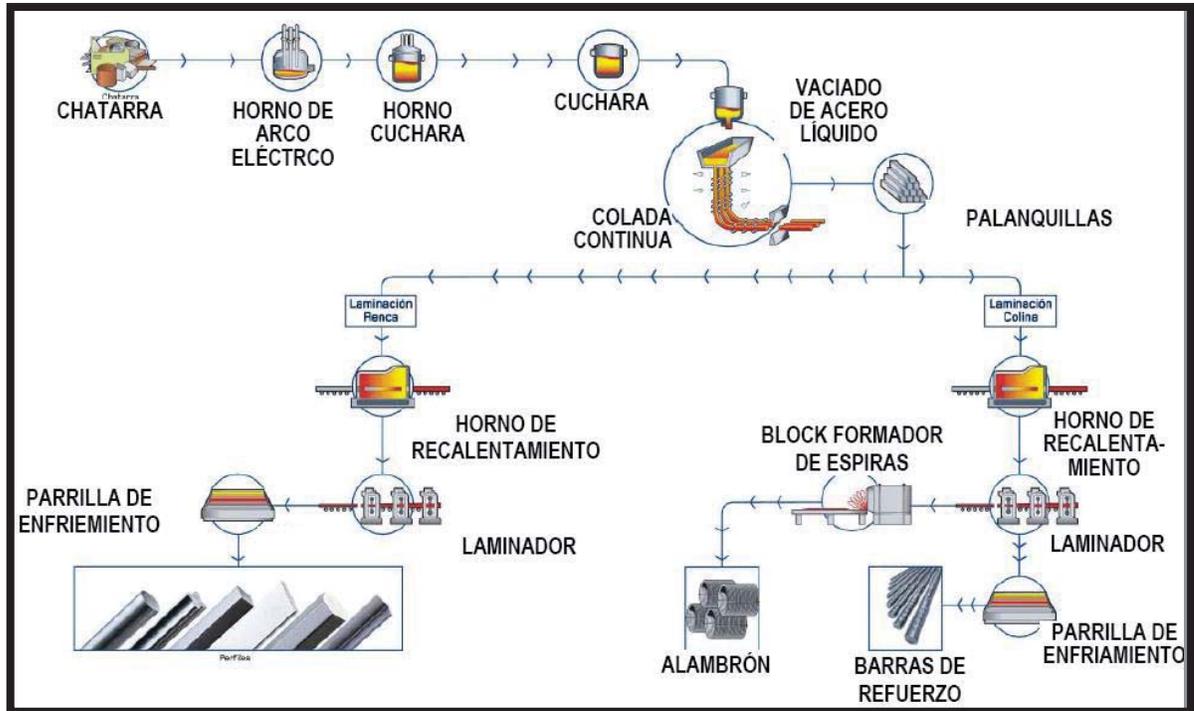


Ilustración 2-18: Diagrama de Flujo del Proceso.

Fuente: Gerdau S.A.

2.6. Estructura de Mantenimiento Planta Laminación de Perfiles Renca.

2.6.1. Descripción General

Gerdau, invierte gran cantidad de dinero en la mantención de los equipos de ambos laminadores, con el único y gran objetivo de lograr conservar el patrimonio de maquinarias e instalaciones durante toda su vida útil, y con esto, obtener un producto de alta calidad en los tiempos establecidos, reduciendo al máximo las detenciones no programadas que puedan existir. Como se señaló previamente, una interrupción imprevista, genera pérdidas a la empresa, no solo por que suben los costos de mantenimiento sino también porque la empresa deja recibir dinero el tiempo que permanece sin producir.

2.6.2. Método solución problemas de Gerdau

Si al generar un plan de mantenimiento, este no logra dar solución a problemas importantes de la empresa, Gerdau cuenta con un método de solución a estos problemas imprevistos, llamado "G.S.P" (Grupo de Solución de Problemas). Este grupo consiste en un equipo de Ingenieros, Operarios, Administrativos y Técnicos, que en conjunto analizan estos problemas dando a lugar a repuestas que evitan detenciones inesperadas, reduciendo los tiempos de interrupciones y costos extras debido a causas inesperadas.

Este método está formado por ocho etapas, esquematizadas a continuación:

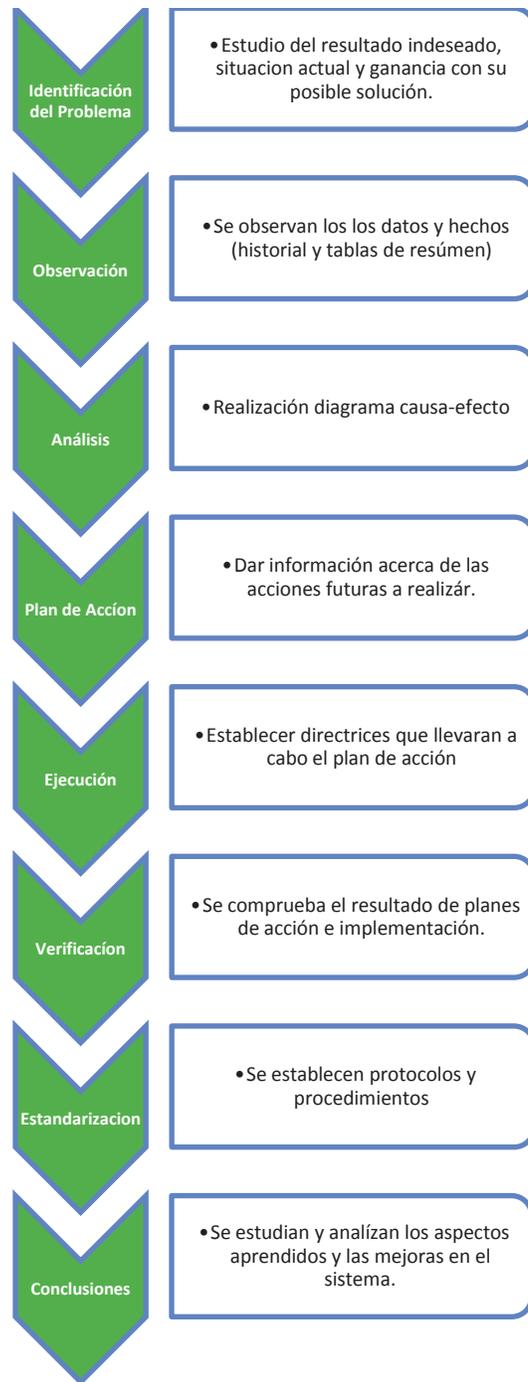


Ilustración 2-18: Ocho pasos de "G.S.P".

Fuente: Gerdau S.A.

2.6.3. Ejecución del Mantenimiento

Para ejecutar un plan de mantenimiento en Gerdau, se debe realizar un protocolo, que está determinado por una programación de mantenimiento donde se señala los tiempos de detención, los operadores que deben realizar la acción, los equipos que se deben supervisar indicando además los sub-equipos, para ser más específico en la mantención a realizar.

La ejecución de un plan de mantenimiento se encuentra debidamente registrado en un programa llamado SAP, utilizado por la empresa, donde el personal a cargo de la mantención puede revisar la programación y posteriormente poder ejecutar su labor con toda la información proporcionada.

2.7. Descripción y Características de Zonas, Equipos y Subequipos del Laminador de Perfiles Gerdau Renca.

El tren laminador de perfiles Gerdau Renca, consta de ocho Zonas, cada una de ellas tiene sus respectivos Equipos, y cada Equipo tiene sus propios Subequipos, obteniendo un total de 434 Subequipos en todo el laminador.

A continuación se explicarán en que consisten estas Zonas, detallando los equipos y subequipos más importantes para el laminador. Para comprender de mejor manera como se distribuyen las Zonas con sus Equipos en el laminador, se muestra un esquema ([Anexo 2](#)) y el Layout del Laminador ([Anexo 3](#)).

2.7.1. Descripción Zona – Horno

El horno de recalentamiento, se comporta como un horno galopante, esto quiere decir, que a través de un sistema hidráulico, se accionan bancadas con movimientos

alternativos que permiten el desplazamiento de las palanquillas. Este horno tiene una capacidad de 58 palanquillas en su interior, lo que permite de 54 palanquillas/hora, en otras palabras, 21 toneladas/hora de material. Está compuesto por 18 quemadores alimentados por combustible diesel, además cuenta con 3 ventiladores.



Ilustración 2-19: Zona - Horno

Fuente: Gerdau S.A.

2.7.2. Descripción Zona – Desbaste

El desbaste corresponde a la zona donde se realiza la primera mecanización a la palanquilla. La palanquilla ingresa con un largo de 3200 [mm] y una sección transversal de 130 [mm] x 130 [mm], y dependiendo del producto que se requiera puede pasar por los rodillos del desbaste 3, 5 o 7 veces. Al término del desbaste la palanquilla puede catalogarse como una barra y es importante destacar que esta zona es donde se realizan los máximos esfuerzos por el cambio de sección importante que se le realiza a la palanquilla.

Los subequipos más importantes del Desbaste son los siguientes:

- *Cardanes*: Transmiten potencia y movimiento del trío a los cilindros.
- *Acoplamiento motor-reductor*: transmiten movimiento del motor al reductor.
- *Acoplamiento reductor-trío*: transmiten potencia y movimiento de reductor al trío.
- *Rodillos*: trasladan las palanquillas hacia el stand de laminación.
- *Tumbadora*: deja caer la barra para la siguiente reducción hasta la salida del séptimo pase.
- *Impulsador del séptimo pase*: impulsa la barra a la salida del séptimo pase.

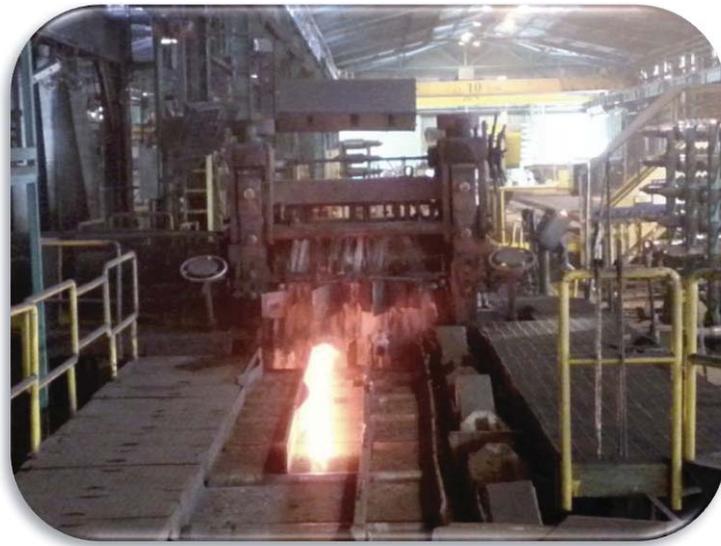


Ilustración 2-20: Zona – Desbaste

Fuente: Gerdau S.A.

2.7.3. Descripción Zona – Tren Medio

Zona donde se le comienza a dar la forma a la barra proveniente del desbaste. Está compuesta por 4 stand de laminación, cada uno de ellos con rodillos resistentes que van cambiando la forma de la barra. De los 4 stand de laminación, 3 de ellos tienen sus rodillos en forma horizontal y 1 vertical, para cambiar los sentidos de los

esfuerzos cuando se está laminando el perfil. Los cilindros laminadores son de 360 [mm] de diámetro y 550 [mm] de largo.



Ilustración 2-21: Zona – Tren medio

Fuente: Gerdau S.A.

2.7.4. Descripción Zona – Tren Acabador

En esta zona se comienza dar forma al producto final solicitado por producción, está compuesto por una cantidad máxima de 6 stand, que dependerá del producto final que se desee obtener. A esta zona la barra proveniente del tren medio llega a una temperatura de 800°C y terminado este proceso la barra deja de llamarse como tal y pasa a ser un perfil. Todos los stand son estándar y accionados por juntas cardánicas. Lo único que diferencia un stand de otro son las formas de los canales de los cilindros, que se clasifican por familias según el producto final que se desea obtener.



Ilustración 2-22: Zona – Tren Acabador

Fuente: Gerdau S.A.

2.7.5. Descripción Zona – Parrilla Enfriamiento

Una vez que los perfiles han terminado su proceso de conformado en el tren acabador, pasan a una parrilla de enfriamiento, donde los perfiles disminuyen su temperatura por convección natural, solo por efecto del aire que se encuentra en el ambiente. Los principales equipos de la parrilla de enfriamiento son el camino rodillos de entrada, mesa enfriamiento, y el camino de rodillos de salida. La mesa de enfriamiento tiene un mecanismo que levanta los perfiles y los va dejando al lado una vez transcurrido un tiempo fijo. Las dimensiones de la parrilla de enfriamiento son de 4 [m] de ancho y 28 [m] de largo. Los perfiles en esta zona disminuyen su temperatura hasta los 150°C.



Ilustración 2-23: Zona – Parrilla Enfriamiento

Fuente: Gerdau S.A.

2.7.6. Descripción Zona – Empaquetado

En esta zona del laminador es donde los productos son pesados, etiquetados y ordenados para pasar a la siguiente etapa que puede ser despacho o terminación, dependiendo de lo que haya pedido el cliente.



Ilustración 2-24: Zona – Empaquetado

Fuente: Gerdau S.A.

2.7.7. Descripción Zona – Utilidades

Esta zona no tiene un lugar específico propiamente tal en el laminador por que corresponde a mecanismos, máquinas, etc, que permiten llevar a cabo los procesos de todas las otras zonas del laminador. Un ejemplo de una utilidad son los puente grúas, que permiten el traslado de los perfiles a terminación o despacho, según sea la necesidad.



Ilustración 2-25: Zona - Utilidades

Fuente: Gerdau S.A.

2.7.8. Descripción Zona –Subestación Eléctrica

Esta zona corresponde a una sala donde se encuentran todos los equipos eléctricos de fuerza, control y operación requeridos en el laminador. Consta de múltiples paneles eléctricos además de softwares que permiten el adecuado control de las variables que experimenta el laminador.



Ilustración 2-26: Sala Eléctrica Laminación.

Fuente: Gerdau S.A.

CAPITULO III

3. MARCO TEORICO

3.1. Mantenimiento

3.1.1. Función del Mantenimiento

Se le denomina Mantenimiento a la función empresarial a la que se encomienda el control del estado de las instalaciones de todo tipo, tanto las productivas como las auxiliares y de servicio.

De manera más explícita, se dice que el mantenimiento es el conjunto de acciones necesarias para conservar o restablecer un sistema en un estado que permita garantizar su funcionamiento a un costo mínimo. Dentro de sus actividades se incluye prevenir o corregir las averías, cuantificar o evaluar el estado de las instalaciones además de evaluar los aspectos económicos, vale decir, sus costos.

Todo equipo, sistema u objeto que le permite al hombre fabricar un elemento, requiere de un mantenimiento debido a los procesos de deterioro naturales que son inevitables, su utilización u otros aspectos a considerar; generalmente se generan deterioros por desgaste, corrosión, fatiga, y para poder solucionar dichos deterioros se desarrollan e implementan planes de mantenimiento para continuar con su proceso de producción.

Hoy en día, existen técnicas modernas de gestión de mantenimiento, dentro de las cuales se pueden encontrar las técnicas de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) y las técnicas de Mantenimiento Productivo Total (TPM), pero todas ellas se encuentran enfocadas en los análisis de las fallas.

Las misiones del mantenimiento, están centradas en la vigilancia permanente o periódica, las acciones preventivas, las acciones correctivas y el reemplazo de la maquinaria (en caso de que falle).

Sus objetivos principales están basados en incrementar la disponibilidad de los equipos hasta el nivel preciso, reducir los costos al mínimo, pero que a su vez sean compatibles con el nivel de disponibilidad necesaria, mejorar la fiabilidad de las máquinas e instalaciones, entre otros.

3.1.2. Áreas de Mantenimiento

En mantenimiento, es indispensable contar con un equipo de personas, dentro de los cuales cada persona cuenta con una acción determinada, y en conjunto optimizarán la mantención de los equipos para la empresa.

Las labores correspondientes son:

- ✓ Mantenimiento de los equipos.
- ✓ Realizar mejoras técnicas.
- ✓ Recuperación de repuestos.
- ✓ Proporcionar útiles, herramientas, repuestos y servicios.
- ✓ Promover la mejora y formación del personal de mantenimiento.
- ✓ Mantener la seguridad de las instalaciones.

3.1.3. Organización del mantenimiento

Dentro de la organización del mantenimiento, es indispensable establecer una jerarquía al igual que una centralización y descentralización, vale decir, establecer una estructura piramidal con dependencia de una sola cabeza para toda la organización, o por el contrario la existencia de diversos departamentos de mantenimiento establecidos por las plantas productivas.

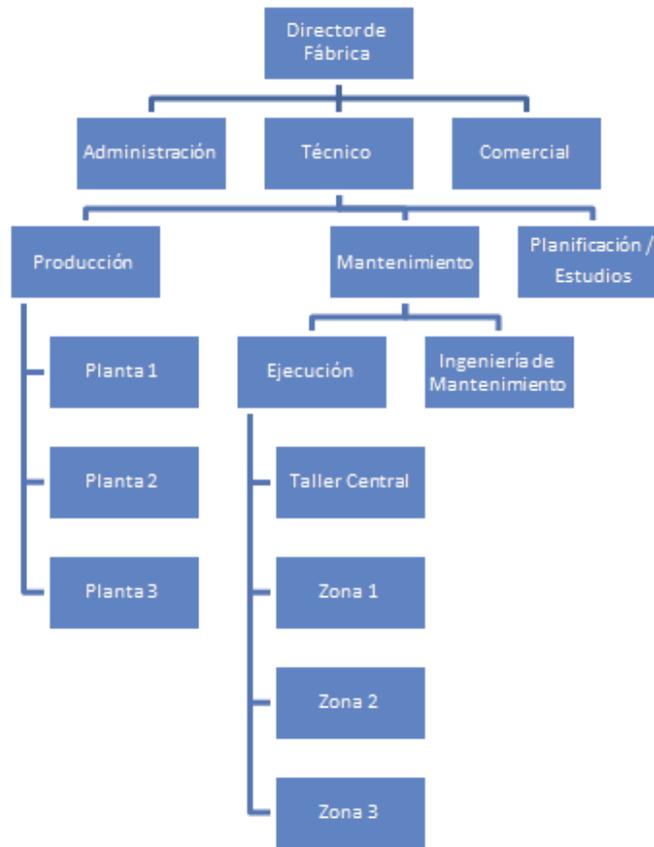


Ilustración 3-1: Organización Mantenimiento
Fuente: Técnicas de Mantenimiento Industrial

3.1.4. Tipos y Niveles de Mantenimiento

3.1.4.1. Mantenimiento Correctivo

El mantenimiento correctivo se define como una serie de acciones que se realiza después de un fallo o problema en un sistema con el objetivo de restablecer la operatividad del sistema.

El proceso de mantenimiento correctivo se inicia con el fracaso y un diagnóstico de la falla para determinar por qué el fracaso apareció. El proceso de diagnóstico puede incluir la inspección física de un sistema, el uso de un equipo de diagnóstico para

evaluar el sistema, las entrevistas con los usuarios del sistema, y una serie de otras medidas. Es importante determinar qué causó el problema, a fin de tomar las medidas adecuadas, y ser conscientes de que múltiples fallas de componentes pueden haber ocurrido de forma simultánea.

El siguiente paso es la sustitución de componentes dañados. En algunos casos, el daño puede ser irreparable, aun sacando el equipo para repararlo en otro lugar. En otros casos, la sustitución completa con un nuevo equipo puede ser necesaria para restaurar la funcionalidad del sistema.

Existen 2 tipos de mantenimiento correctivo:

- a) *Mantenimiento Correctivo no Planificado*: Es el mantenimiento correctivo de emergencia que debe llevarse a cabo con la mayor celeridad para evitar que se incrementen costos e impedir daños materiales y/o humanos.

Si se presenta una avería imprevista, se procederá a repararla en el menor tiempo posible para que el sistema, equipo o instalación siga funcionando normalmente sin generar perjuicios o, se reparará aquello que por una condición imperativa requiera su arreglo (en caso que involucre la seguridad, o por peligro de contaminación, o por la aplicación de normas, etc.)

- b) *Mantenimiento Correctivo Planificado*: El mantenimiento correctivo planificado prevé lo que se hará antes que se produzca el fallo, de manera que cuando se detiene el equipo para efectuar la reparación, ya se dispone de los repuestos, de los documentos necesarios y del personal técnico asignado con anterioridad en una programación de tareas. Al igual que el anterior, corrige la falla y actúa ante un hecho cierto.

Este tipo de mantenimiento difiere del no planificado en que se evita ese grado de apremio del anterior, porque los trabajos han sido programados con antelación.

Para llevarlo a cabo se programa la detención del equipo, pero previo a ello, se realiza un listado de tareas a realizar sobre el mismo y programamos su ejecución en dicha oportunidad, aprovechando para realizar toda reparación, recambio o ajuste que no sería factible hacer con el equipo en funcionamiento. Suele hacerse en los momentos de menor actividad, horas en contra turno, períodos de baja demanda, durante la noche, en los fines de semana, períodos de vacaciones, etc.

3.1.4.2. Mantenimiento Preventivo

El mantenimiento preventivo puede definirse como la programación de actividades de inspección de los equipos, tanto de funcionamiento como de limpieza y calibración, que deben llevarse a cabo en forma periódica con base en un plan de aseguramiento y control de calidad. Su propósito es prevenir las fallas, manteniendo los equipos en óptima operación.

La característica principal de este tipo de mantenimiento es la de inspeccionar los equipos, detectar las fallas en su fase inicial y corregirlas en el momento oportuno. Con un buen mantenimiento preventivo se obtiene experiencia en diagnóstico de fallas y del tiempo de operación seguro de un equipo.

El mantenimiento preventivo se divide en 2 modelos:

- a) *El Mantenimiento Preventivo Sistemático*: consiste en un conjunto de operaciones que se realizan sobre las instalaciones-maquinaria y equipos de

producción antes de que se haya producido un fallo, y su objetivo es evitar que se produzca dicho fallo o avería en pleno funcionamiento.

Entre los tipos de tareas que suele incluir el mantenimiento sistemático están las siguientes:

- ✓ Limpiezas técnicas de equipos.
- ✓ Sustitución de elementos sometidos a desgaste.
- ✓ Comprobación del estado interior de determinados elementos y el buen funcionamiento de la instrumentación, y calibración.
- ✓ Verificación de prestaciones.

b) *El Mantenimiento Preventivo Condicional*: Este modelo Incluye las actividades del modelo anterior, y además, la realización de una serie de pruebas o ensayos, que condicionarán una actuación posterior. Si tras las pruebas se descubre una anomalía, se programará una intervención; si por el contrario, todo es correcto, no actuaremos sobre el equipo.

Este modelo de mantenimiento es válido en aquellos equipos de poco uso, o equipos que a pesar de ser importantes en el sistema productivo su probabilidad de fallo es baja.

3.1.4.3. Mantenimiento Predictivo

El mantenimiento predictivo es el que persigue conocer e informar permanentemente del estado y operatividad de las instalaciones mediante el conocimiento de los valores de determinadas variables, representativas de tal estado y operatividad. Para aplicar este mantenimiento, es necesario identificar variables físicas (temperatura, vibración, consumo de energía, etc.) cuya variación sea indicativa de problemas que puedan estar apareciendo en el equipo.

Es el tipo de mantenimiento más tecnológico, pues requiere de medios técnicos avanzados, y en ocasiones, de fuertes conocimientos matemáticos, físicos y/o técnicos.

3.1.4.4. Control Administrativo

Dentro del mantenimiento, se encuentra un control administrativo, dentro de los cuales se encuentran:

- ◆ **Control de la Organización:** Señala el grado en que se debe identificar el recurso humano, en que se deben clarificar sus funciones, definir sus responsabilidades, distribuir la autoridad, establecer un buen sistema de comunicaciones y control, describir las relaciones jerárquicas y racionalizar su distribución tanto funcional como físicamente.
- ◆ **Control del Recurso Humano:** Identifica la forma en que la empresa selecciona, entrena, motiva, evalúa, compensa y desarrolla al personal de mantenimiento.
- ◆ **Control de la Planificación:** Incluye las actividades, conceptos y tecnologías que se emplean en la planificación, programación y ejecución del trabajo de mantenimiento.
- ◆ **Control de los Abastecimientos:** Esta categoría mide las relaciones de trabajo establecidas para conseguir los materiales, repuestos y servicios necesarios.
- ◆ **Control de las relaciones entre los departamentos:** Incluye todas aquellas condiciones, responsabilidades y actividades de los departamentos contiguos al de mantenimiento que afectan sus operaciones.

- ◆ **Control del Mantenimiento Preventivo:** Muestra la presencia o ausencia de los mejores procedimientos de mantenimiento preventivo disponibles y el grado en que se aplican.

- ◆ **Control de la Ingeniería:** Incluye una lista de las responsabilidades básicas del departamento de ingeniería en relación con el mantenimiento de la planta.

- ◆ **Control de los Costos:** Indica la presencia o ausencia de buenos métodos de manejo de los costos y de control de costos, que proporcionen medios adecuados para medir, registrar, verificar tendencias e identificar oportunidades de mejoramiento.

- ◆ **Control de la Carga de Trabajo:** Incluye todas aquellas actividades que muestran la capacidad del departamento para medir su carga de trabajo, balancearla con la fuerza de trabajo disponible, pronosticar los cambios deseables en la fuerza de trabajo e influir para que se produzca la ocupación más eficiente de los recursos disponibles.

- ◆ **Control de la Productividad:** Señala la forma en que el departamento mide y mejora la productividad de su fuerza de trabajo.

Dentro del control administrativo existe una propiedad que permite a los usuarios tener confianza en los servicios que ésta ofrece, esta propiedad recibe el nombre de “*certeza de funcionamiento de un sistema*”, cuyos componentes son los siguientes:

- ◆ **Confiabilidad:** Se puede definir como la capacidad de una instalación, sistemas, equipo y/o dispositivos de realizar su función de la manera prevista. De otra forma, la confiabilidad se puede definir también como la probabilidad en que un producto realizará su función prevista sin incidentes por un período de tiempo especificado y bajo condiciones indicadas.

Los criterios de confiabilidad se difunden cada vez más en el mundo industrial, por varias razones:

- El aumento de la complejidad de los productos que, si no se cuenta con procedimientos pertinentes, incrementa la probabilidad de falla de la maquinaria;
 - Las dificultades de mantención de ciertas máquinas o estructuras;
 - La exigencia de aumentar la duración del funcionamiento correcto de un producto;
 - La necesidad de reducir los pesos sin afectar la seguridad del funcionamiento. Ello requiere una proyectación más cuidadosa, con un mayor conocimiento del historial de carga, de las propiedades de resistencia de los materiales y del estado tensional actual;
 - El cambio de visión con respecto a la responsabilidad civil vinculada a la producción y comercialización de un producto.
-
- ◆ **Disponibilidad:** La disponibilidad refleja la posibilidad de utilización de una instalación desde el punto de vista técnico, es decir excluyendo las detenciones no originadas por falla del sistema. La disponibilidad se define como la razón o cociente del tiempo en que la instalación se puede ocupar y el tiempo total que incluye al anterior más el tiempo de reparación.

 - ◆ **Mantenibilidad:** Es el concepto que caracteriza la facilidad del desarrollo de una intervención de mantención o reparación, medida sobre la base de los tiempos de detención del equipo. La mantenibilidad de un equipo queda definida por la distribución de probabilidad asociada a los tiempos de realización de la mantención.

3.2. Las fases de vida de la máquina

Para muchas clases de componentes, la evolución en el tiempo de la tasa de fallas se asemeja a aquella que se muestra en la ilustración 3.2. En el tiempo $t=0$, se pone en funcionamiento por primera vez varios componentes de un cierto tipo, todos ellos funcionando correctamente. Si dentro de la población se encuentran elementos más débiles que lo normal, la curva presentará una elevada tasa de fallas inicial. Al cabo de un periodo inicial de rodaje, en que se detecta y reemplaza las piezas más débiles, la tasa de fallas sigue disminuyendo y se estabiliza en un valor prácticamente constante en tiempo t_a . Después de este periodo, denominado de las fallas infantiles, todos los componentes de constitución débil ya se han estropeado y han sido reemplazados. Las fallas en esta fase pueden deberse a errores de diseño, de fabricación, de montaje, o a una elección errada de los materiales por emplear.

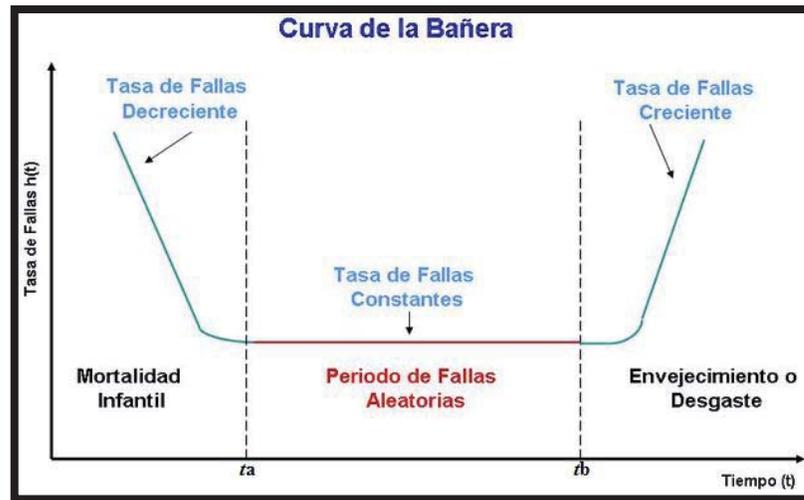


Ilustración 3.2: Evaluación típica de la tasa de fallas de una población

Fuente: Manual de Gestión de Activos y mantenimiento

Gracias a esta fase de depuración, se debería lograr que el sistema alcanzara gradualmente el máximo de sus prestaciones nominales, es decir, aquellas establecidas en la fase de diseño.

La distribución que se utiliza comúnmente para describir la evolución de las fallas infantiles es la de Weibull, que es capaz de asimilar varias hipótesis sobre los parámetros y las magnitudes que causan las fallas.

Después del rodaje, la población alcanza su valor mínimo y dicho valor se mantiene aproximadamente constante durante un cierto periodo de tiempo que recibe el nombre de vida útil. La vida útil debería resultar ser mayor o igual a la vida límite establecida como dato de proyecto. En esta fase, surgen en el sistema fallas de naturaleza aleatoria cuya probabilidad de ocurrencia es independiente del periodo de operación acumulado. Por lo tanto, durante toda la vida útil, las fallas ocurren en cantidades iguales para cada intervalo de tiempo significativo y corresponden a imperfecciones del proceso productivo, a sobreexigencias accidentales, a condiciones de funcionamiento que son nominalmente iguales para todos los componentes pero que en los hechos han demostrado ser diferentes. La tasa de falla, en esta fase, nos proporciona una medida de calidad del diseño y de los métodos de fabricación. La distribución estadística que describe en mejor forma la evolución de las fallas durante la vida útil es la función de distribución exponencial negativa, que es capaz de reflejar la independencia de la probabilidad de fallas del tiempo de funcionamiento acumulado.

Cuando los componentes alcanzan la edad designada con t_b , en la ilustración 3.2 empiezan hacerse sentir las fallas por fatiga y desgaste, de manera que la tasa de falla aumenta rápidamente. En efecto, ningún componente sometido a un historial de carga real con esfuerzos de amplitud variable en el tiempo puede ser indefinidamente. Una vez agotada la vida útil del proyecto, el parámetro de daños de una cierta cantidad de componentes habrá alcanzado un valor cercano a la unidad, y el número de fallas aumentará progresivamente en el tiempo. Esta fase encuentra una descripción adecuada en la distribución normal o gaussiana en presencia de fallas por desgaste o corrosión, y con mayor frecuencia, por lo menos en los casos de fallas por fatiga, en la distribución log-normal, en la cual los análisis estadísticos no involucran las amplitudes de los esfuerzos y el número de ciclos de ruptura, sino

sus logaritmos. En estricto rigor, en este caso también se debería recurrir a una distribución Weibull, pero la distribución gaussiana resulta más práctica y conveniente en relación a la reducida cantidad de datos normalmente disponibles.

3.3. Confiabilidad Operacional

La Confiabilidad Operacional, es la capacidad de la empresa, a través de los procesos, las tecnologías y las personas, para cumplir con su propósito dentro de los límites del diseño y de las condiciones operacionales. La Confiabilidad Operacional considera una serie de procesos de mejora continua que incorporan en forma sistemática herramientas de diagnóstico, metodologías de análisis y nuevas tecnologías, para optimizar el proyecto, la gestión, la planeación, la ejecución y el control, asociados con la producción, el abastecimiento y el mantenimiento industrial.

Para la búsqueda de la Confiabilidad Operacional es necesario actuar de manera integrada sobre los activos, desde su diseño hasta su operación, como también sobre aspectos relacionados con los procesos y las personas, es así como las componentes que la conforman y que actúan integradamente son la confiabilidad de los procesos.



Ilustración 3.3: Aspectos Fundamentales de la Confiabilidad Operacional

Fuente: Revista Seguridad Minera

La Confiabilidad Operacional tiene cuatro ejes (ilustración 3.3) que se deben considerar y sobre los cuales se debe actuar si se desea obtener una gestión a largo plazo con los resultados esperados, según lo planificado. Estos ejes son: la confiabilidad humana que se relaciona con el involucramiento, el compromiso y las competencias que disponen las personas con las actividades que le corresponde realizar y la estructura organizacional para lograrlo; la mantenibilidad y la confiabilidad de los equipos, que se vincula con el diseño de los equipos y su apoyo logístico, y con las estrategias y efectividad de mantenimiento de los equipos y las instalaciones; y por último la confiabilidad del proceso que se asocia con la sintonía que existe entre el proceso y los procedimientos utilizados para operar las instalaciones.

Las estrategias de Confiabilidad Operacional se usan ampliamente en los casos relacionados con:

- Elaboración de los planes y programas de mantenimiento e inspección de equipos e instalaciones industriales.
- Solución de problemas recurrentes en los activos fijos que afecten los costos y la efectividad de las operaciones.
- Determinación de las tareas que permitan minimizar riesgos en los procesos, equipos e instalaciones y medio ambiente.
- Establecer procedimientos operacionales y prácticas de trabajo seguro.
- Determinar el alcance y frecuencia óptima de paradas de planta.

3.3.1. Herramientas de la Confiabilidad operacional

Para utilizar la confiabilidad como método de análisis existen una serie de herramientas que permiten evaluar el comportamiento del equipo en forma sistemática, con el fin de determinar el nivel de operatividad, el riesgo asociado y las acciones de mantenimiento que requiere el equipo para asegurar su integridad y continuidad operacional.

A continuación, se presentan las herramientas más utilizadas de la Confiabilidad Operacional.

3.3.1.1. Análisis de Criticidad

El análisis de criticidad es una metodología que permite establecer la jerarquía o prioridades de procesos, sistemas y equipos, creando una estructura que facilita la toma de decisiones acertadas y efectivas, direccionando el esfuerzo y los recursos en áreas donde sea más importante y/o necesario mejorar la confiabilidad operacional, basado en la realidad actual

Con un correcto Análisis de Criticidad se logra:

- Priorizar proyectos y trabajos a realizar.
- Reestructurar políticas de mantenimiento.
- Enfocar mantenimiento a equipos más críticos.
- Optimizar recursos humanos y económicos.
- Elaborar inventarios críticos de los equipos.

3.3.1.2. Análisis de Modos y Efectos de falla (AMEF)

Esta herramienta permite a través de su análisis para la identificación, evaluación y prevención de los posibles fallos y efectos que pueden aparecer en un proceso.

Los Beneficios de implantación del Análisis de Modos y Efectos de Falla en un sistema son:

- Identifica fallas o defectos antes de que estos ocurran.
- Reducir los costos de garantías.
- Incrementar la confiabilidad de los productos/servicios (reduce los tiempos de desperdicios y re-trabajos).
- Procesos de desarrollo más cortos.
- Documenta los conocimientos sobre los procesos.
- Incrementa la satisfacción del cliente.

3.3.1.3. Análisis Causa Raíz

Análisis de Causa Raíz (RCA en sus siglas en inglés) es un método para la resolución de problemas que intenta a identificar las causas de las fallas o problemas.

Las prácticas de RCA se enfocan en la resolución de problemas a través de la identificación y corrección de las causas raíz de los eventos, en lugar de tratar los síntomas que surjan de un problema. Al concentrarse en la corrección de la causa raíz, se previene la repetición del evento.

Existen varios métodos que abordan las causas raíz de un problema, Por lo tanto RCA es un proceso reiterativo y una herramienta para la mejora continua. Esta metodología es usada normalmente en forma reactiva para identificar la causa de un evento, para revelar problemas y resolverlos. El análisis se realiza después de ocurrido el evento. Con un buen entendimiento de los RCA permite que la metodología sea preventiva y pronosticar eventos probables antes de que sucedan.

3.3.1.4. Análisis Árbol de Fallas

El análisis Árbol de Falla (FTA) es uno de los métodos más ampliamente usados en sistemas de relatividad, mantenimiento y análisis de seguridad. Es un proceso deducible utilizado para determinar las varias combinaciones de fallas de equipos, programas de computación y errores humanos que pueden causar eventos indeseables (referidos como eventos altos) al nivel del sistema.

El análisis deducible empieza con una conclusión general, luego intenta determinar las causas específicas de la conclusión construyendo un diagrama lógico llamado un árbol de falla. Esto también es llamado tomar una propuesta de arriba-a-abajo.

El motivo principal del análisis árbol de falla es el ayudar a identificar causas potenciales de falla de sistemas antes de que las fallas ocurran. También puede ser utilizado para evaluar la probabilidad del evento más alto utilizando métodos analíticos o estadísticos. Estos cálculos envuelven sistemas de relatividad cuantitativos e información de mantenimiento tal como probabilidad de falla, tarifa de falla, y tarifa de reparación.

3.3.1.5. Método Optimización Costo Riesgo

Es una metodología que permite lograr una combinación óptima entre los costos asociados al realizar una actividad, tomar decisiones y los logros (beneficios) esperados que dichos aspectos generan, considerando el riesgo que involucra la realización o no de tal actividad o inversión, incluyendo en la misma el hecho de disponer o no de los recursos para esta.

Esta es una técnica o metodología que permite la toma de decisiones sustentada en el concepto de “Mínimo impacto total en el negocio”.

Dentro de las características generales para este tipo de estudio, se encuentran:

- Permitir evaluaciones en un corto plazo con resultados certeros.
- Optimizar frecuencias y costos de actividades.
- Permitir evaluar posible extensión de vida útil.

3.4. Obtención de la Mantenibilidad de un Sistema

Previamente se mencionó que la mantenibilidad es la probabilidad de restituir o volver al servicio, en un tiempo determinado, a un sistema que ha sufrido una falla o interrupción en su funcionamiento.

La *mantenibilidad*, juntamente con la *confiabilidad*, representan los dos parámetros más importantes para la evaluación operativa de un sistema.

De acuerdo a lo anterior la mantenibilidad de un equipo queda condicionada a los aspectos siguientes:

- Tiempo de preparación
- Tiempo de localización de la falla

- Tiempo de desmontaje
- Tiempo de obtención de las piezas y materiales necesarios
- Tiempo de reparación propiamente tal
- Tiempo de ajuste y calibración
- Tiempo de montaje
- Tiempo de comprobación del buen funcionamiento del componente reparado
- Tiempo de limpieza

Toda acción de mejora de la mantenibilidad debe enfocarse a revisar los aspectos antes mencionados a través de mejoras de diseño o de procedimientos que permitan disminuir tanto la esperanza como la variabilidad de los tiempos de intervención del equipo.

Tal como se mencionó en el caso de la confiabilidad, la mantenibilidad responde a condiciones clásicas de variabilidad lo que permite su caracterización a través de distribuciones de probabilidad conocidas. En este sentido la distribución de probabilidad comúnmente utilizada para la representación de los tiempos de reparación es la normal-logarítmica.

La utilización de esta distribución de probabilidad se fundamenta en explicar la variabilidad de los tiempos de reparación por dos fenómenos en esencia distintos:

- Variaciones de tiempos asociados a factores “accidentales” en la reparación, es decir, pernos rodados, uniones oxidadas, etc.
- Variaciones de tiempo usuales de la reparación, tales como, destreza del mantenedor.

El primero se presenta mediante una distribución exponencial negativa. El segundo, dada su tendencia a un valor medio, se ajusta bien a una normal.

La distribución de la suma de un fenómeno exponencial negativo y uno normal se aproxima muy bien a la normal logarítmica.

Considerando como variable aleatoria los tiempos de reparación tr , la expresión matemática para la distribución normal – logarítmica dada por:

$$f(tr) = \frac{1}{tr \cdot \sigma \cdot \sqrt{2\pi}} e^{\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln(tr) - \mu}{\sigma} \right)^2 \right]}$$

Donde μ es la medida de los logaritmos de los tiempos de reparación, y σ^2 es su varianza relativa.

$$\mu = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \ln(tr_j)$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{j=1}^N (\ln(tr_j) - \mu)^2$$

El tiempo medio de reparación MTTR vendría dado por:

$$MTTR = \int_0^{\infty} f(tr) \cdot tr \cdot dtr$$

Comúnmente el tiempo medio de reparación se calcula obteniendo el promedio del tiempo de reparación, esto es, el cuociente entre la suma de los tiempos de reparación y las veces que se tuvo que reparar el sistema:

$$MTTR = \frac{\sum \text{tiempo.reparación}}{\sum n^{\circ} \text{reparaciones}}$$

De acuerdo a lo anterior la mantenibilidad de un componente viene dada por la distribución de probabilidad acumulada $F(tr)$, es decir, la probabilidad de que la intervención de mantenimiento se lleve a cabo dentro del tiempo tr .

$$F(tr) = \int_0^{tr} f(tr) dtr$$

Es importante mencionar que para conocer el tiempo medio de reparación (MTTR) y el tiempo medio de funcionamiento (MTBF) es necesario entender los conceptos de tiempo de reparación (TTR) y el tiempo de funcionamiento (TBF), el TTR es el tiempo que se demoró en reparar un equipo que generó una interrupción y el TBF es tiempo que el laminador estuvo funcionando desde que se reparó el equipo hasta que se generó una nueva interrupción causado por una falla. Esto se refleja en el esquema de la

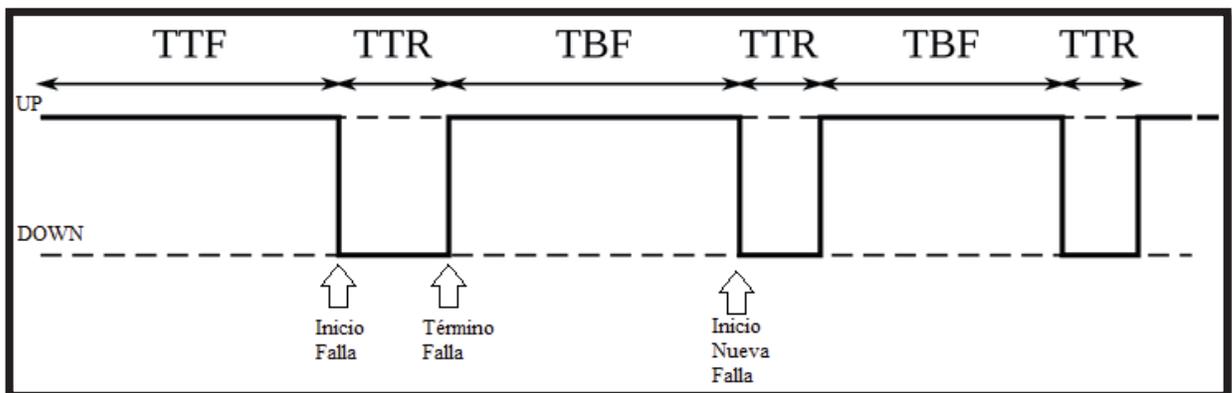


Ilustración 3.4: Esquema Explicación TTR y TBF

Fuente: Manual de Gestión de Activos y Mantenimiento.

Otro indicador importante es la tasa de mantenibilidad. Esta tasa representa la probabilidad de que un elemento sea reparado en un instante de tiempo determinado dado que el tiempo inmediatamente anterior no lo estaba. Este indicador viene dado por:

$$m(tr) = \frac{f(tr)}{1 - F(tr)}$$

3.5. Disponibilidad de Componentes y Sistemas

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

De acuerdo a lo anterior, la disponibilidad viene dado por la relación porcentual entre el tiempo de funcionamiento y el tiempo total. Lo que se puede expresar de la forma siguiente:

$$A = \frac{UT}{(UT + DT)}$$

Donde UT (*up-time*) representa el tiempo en que el sistema está realmente disponible para el funcionamiento y DT (*down-time*) representa el tiempo fuera de servicio imputable a causas técnicas.

Considerando las antecedentes antes discutidos respecto de confiabilidad y mantenibilidad es lógico establecer basado en estos conceptos un indicador de disponibilidad esperado. Este indicador refleja después de muchos ciclos de operación y reparación de un elemento, el valor más probable de disponibilidad.

$$Disp.esp. = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

Donde MTBF es el tiempo medio entre fallas y MTTR es el tiempo medio de reparación. Cabe destacar que en este indicador de disponibilidad está presente solo el efecto de la falla del elemento. En el caso general, el tiempo fuera de servicio de una instalación industrial durante cierto periodo de tiempo es el resultado de la suma del tiempo debido a las intervenciones de mantenimiento preventivo y del tiempo debido a las operaciones de mantenimiento correctivo. Para el cálculo de la disponibilidad se necesitan los siguientes datos estadísticos:

- ❖ Tf_i : Tiempo de funcionamiento en cada ciclo de funcionamiento-reparación.
- ❖ tr_i : Tiempos de reparación en cada ciclo de funcionamiento-reparación
- ❖ N : Números de ciclos de funcionamiento-reparación, en análisis.

Entonces el *up – time* y el *down – time* se definen como sigue:

$$UT = \sum_{i=1}^N Ti \quad DT = \sum_{i=1}^N \tau i$$

Dividiendo el numerador y el denominador por el número de ciclos N y considerando que este sea lo suficientemente grande, se tiene:

$$A = \frac{\sum_{i=1}^N Ti}{\sum_{i=1}^N Ti + \sum_{i=1}^N \tau i}$$

Otra forma equivalente de enfrentar el cálculo de los tiempos DT, es considerando las siguientes variables que estadísticamente se llevan en las empresas:

- ❖ N_c : El número de operaciones de mantenimiento correctivo en el periodo analizado
- ❖ N_p : El número de operaciones de mantenimiento preventivo en el período analizado
- ❖ $MTTR_c$: El tiempo medio de reparación correctiva
- ❖ $MTTR_p$: El tiempo medio de reparación preventiva.

Se puede concluir que el tiempo de reparación total viene dado por:

$$MTTR_p \times N_p + MTTR_c \times N_c$$

Distinto es el caso de un sistema complejo, es decir, se debe evaluar el tiempo medio de reparación de un sistema compuesto por distintos elementos que están sometidos en forma individual a ciclos de funcionamiento y reparación.

Una aproximación para el cálculo del MTTR en sistemas con lógica de falla en serie, viene dada por la relación siguiente:

$$MTTR = \frac{\sum N_i \alpha_i tr_i}{\sum N_i \alpha_i}$$

Donde:

- ❖ N_i : El número de partes componentes de tipo i-ésimo
- ❖ tr_i : El número medio de reparaciones de la parte i-ésima
- ❖ α_i : El número medio de fallas por unidad de tiempo, siempre para la parte i-ésima. Es equivalente a $\frac{1}{MTBF_i}$

Por otra parte el cálculo de la disponibilidad de sistemas complejos, se puede recurrir a las mismas reglas empleadas en el cálculo de la confiabilidad. En consecuencia para sistemas en serie, es válida la relación:

$$A_s = \prod A_i$$

Que relaciona la disponibilidad del sistema A_s con la disponibilidad de sus componentes A_i

En el caso de sistemas en paralelo con redundancia total se tiene:

$$A_s = 1 - \prod (1 - A_i)$$

Donde el segundo término representa la indisponibilidad de cada componente del sistema.

Las relaciones vistas anteriormente no son del todo exactas desde el punto de vista teórico. El cálculo correcto de la disponibilidad debería llevarse a cabo teniendo en cuenta la influencia sobre los tiempos de reparación, el número de equipos de reparación disponibles y la dependencia a la frecuencia de falla del número de unidades que funcionan simultáneamente. Sin embargo el proceso de cálculo se complicaría notablemente, siendo las relaciones antes vistas adecuadas para el análisis de casos prácticos.

3.6. Costos Globales

Todo sistema tiene un indicador de disponibilidad condicionado por la confiabilidad y mantenibilidad del mismo. Esta disponibilidad a través de la indisponibilidad, genera costos de ineficiencia por no producción o por falta de servicios. En algunos sistemas industriales los costos de ineficiencia son tan elevados que económicamente conveniente considerar equipos de respaldo o en redundancia, para así lograr la disponibilidad "ideal" del sistema. Obviamente estos equipos adicionales deben respaldar a los equipos más críticos del sistema.

Para decidir acerca del nivel, de redundancia más conveniente se debe obtener la curva de costos globales. *Ilustración 3.5*

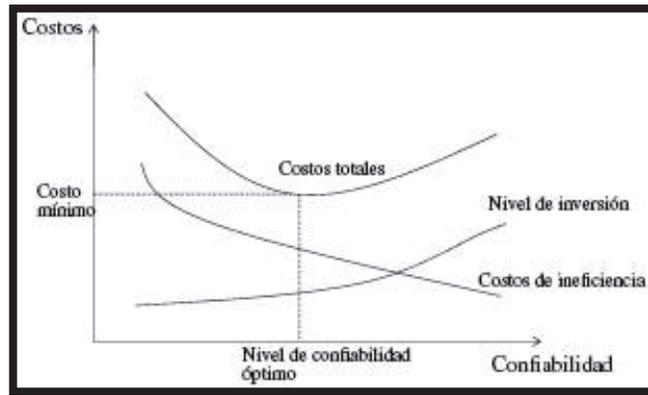


Ilustración 3.5: Curva de costos globales.

Fuente: Revista Ingeniare.

Un aumento de la confiabilidad se puede obtener por una inversión a nivel de:

- Proyecto: por un aumento al nivel de redundancia, sobre dimensionamiento de la instalación o por mejoras de diseño.
- Operación: por mejores estrategias de mantención.

Los costos globales son la cuantificación de todos los costos incurridos el ciclo de vida de un proyecto o instalación, y puede ser descrito por la relación siguiente:

$$\text{Costo global} = \text{Costo capital fijo} + \text{Costo operacional} + \text{Costo de ineficiencia}$$

Costo de capital fijo o de inversión: queda determinado por el costo de los equipos e instalaciones asociados al proyecto. También pueden considerarse el capital de trabajo requerido para la operación. En general se puede representar:

$$C_{inversion} = N \cdot C_e$$

Donde C_e es el costo de equipo instalado y N el número de equipos.

Costo operacional: queda definido por la cuantificación de todos aquellos elementos propios de la operación de un sistema, tales como: insumos, energía, repuestos, etc.

El costo de ineficiencia: está dado por el costo asociado a las indisponibilidad de la instalación durante el periodo de evaluación. Entonces los costos ineficiencia se pueden representar de la siguiente manera:

$$C.ineficiencia = \sum_{k=1}^n \frac{1}{(1+i)^k} \cdot H \cdot C_i \cdot (1 - A_{sistema})$$

Donde:

- ❖ C_i : Costos de ineficiencia horario. (\$/h; US\$/dia,....)
- ❖ H : Período de evaluación dentro del horizonte del proyecto.
- ❖ $A_{sistema}$: Disponibilidad del sistema
- ❖ i : Tasa de costo de capital de la empresa
- ❖ n : Años de operación

La sumatoria es la actualización de los flujos de dinero producto de los costos de ineficiencia por cada periodo H de análisis. Si se tiene que los periodos son iguales se puede utilizar un factor:

$$f = \frac{(1+i)^n - 1}{(1+i)^n i}$$

Es importante mencionar que $C_i = (\text{no facturado}) - (\text{costos variables})$

Una vez definidos los costos globales se puede analizar distintas alternativas de equipo y de configuraciones del sistema, obviamente que la mejor alternativa será la que tiene el mínimo costo global.

3.7. Análisis de redundancia

Una forma de aumentar la confiabilidad de un sistema es introduciendo redundancia de equipos ya sea, en *stand – by* o en paralelo tanto total como parcial. Cualquier modificación que se haga para aumentar la confiabilidad aumentará la disponibilidad por lo que los costos de ineficiencia serán menores. Pero por otro lado los costos de inversión aumentarán. Entonces para poder concluir acerca de la conveniencia del aumento de la confiabilidad se deben analizar los costos globales.

En el análisis de redundancia los costos de operación generalmente se pueden asumir como constante y en consecuencia no considerarse. Lo anterior se justifica por la marginalidad del impacto de estos costos en la mayoría de los casos bajo estudio.

CAPITULO IV

4. APLICACION SOFTWARE DE MANTENIMIENTO DE GERDAU Y HERRAMIENTAS DE CONFIABILIDAD OPERACIONAL.

4.1. Descripción General

En este capítulo se hará una detallada descripción de los resultados obtenidos a través del software de mantenimiento, elaborado especialmente por el autor de esta memoria para Gerdau Renca, repasando los cálculos y resultados que realizan los algoritmos desarrollados en Visual Basic. Además se complementarán estos resultados con los otorgados con algunas de las herramientas que ofrece la confiabilidad operacional con el único objetivo de desarrollar un completo análisis de todos los subequipos del laminador, en especial aquellos subequipos que son críticos.

El software de mantenimiento cuenta con una serie de botones que tienen distintas funciones permitiendo al usuario un fácil manejo de la información:

- El botón “Factor Utilización” permite al usuario ingresar la información necesaria para calcular el factor que multiplicará al tiempo de funcionamiento del laminador con el objetivo de obtener el tiempo real que el laminador ha estado disponible para laminar.
- El botón “INTERRUPCIONES” permite al usuario ingresar la fecha de inicio de interrupción y la fecha de término de la interrupción, en conjunto podrá seleccionar la zona, equipo y subequipo donde ocurrió la interrupción, además del factor de utilización previamente calculado y la fecha actual. Al presionar “ACEPTAR” los datos ingresados irán a la base de datos del subequipo correspondiente.

- El botón “ACTUALIZAR” el usuario deberá seleccionar la fecha actual, el factor de utilización y periodo a evaluar los indicadores. Una vez seleccionados el usuario deberá seleccionar que Zona desea actualizar.
- El botón “Suma Interrupciones” ayuda al usuario calcular el tiempo real de la duración de la interrupción.
- El botón “Criticidad” envía al usuario a la planilla donde se encuentra todos los subequipos del laminador con sus respectivos valores de criticidad.
- El botón “Disponibilidad”, “Confiabilidad” y “MTTR”, envía al usuario al diagrama árbol con la información de disponibilidad, confiabilidad y MTTR de cada uno de los subequipos del laminador, diferenciando entre datos mecánicos, eléctricos y electrónicos.
- El botón “Buscar Cálculos” permite al usuario ubicar la base de datos de cada uno de los subequipos del laminador donde se encuentran todos los datos ingresados y sus cálculos.
- El botón “Gráficos” permite al usuario obtener los gráficos Jack-Knife o Estadísticos de cada subequipo (por disciplina) del laminador
- El botón “Planos”, “Árbol” y “Layout”, envía al usuario a los planos de la maquinaria existente en Gerdau Renca; al diagrama árbol de las zonas, equipos y subequipos; y al Layout de la planta ubica en Renca, respectivamente.

En el [Anexo 11](#) se encuentra detalladamente la manera de usar y el funcionamiento de cada uno de los botones y herramientas que ofrece el software

A continuación en la ilustración 4.1 se presenta un diagrama de flujo del funcionamiento del software:

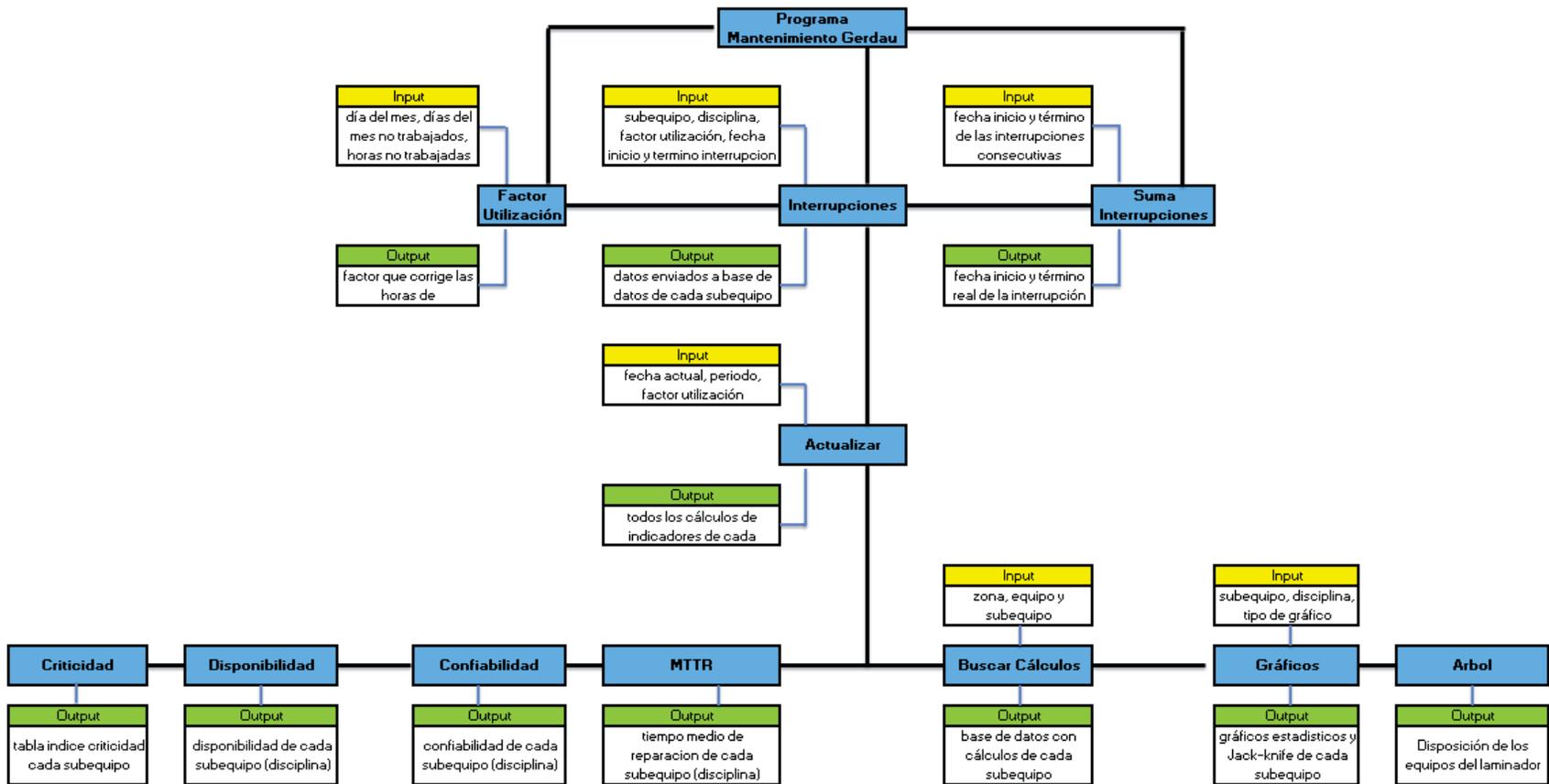


Ilustración 4.1: Diagrama de Flujo de Funcionamiento del Software

Fuente: Autor Memoria

4.2. Criterios para Aplicación Software de Mantenimiento

El autor de esta memoria ha diseñado y elaborado un software de mantenimiento, a través de Visual Basic y Macros de Excel, que permite obtener de manera actualizada indicadores importantes como la confiabilidad, disponibilidad y tiempo medio de reparación de todos los subequipos del laminador (434 subequipos en total), además de gráficos que permiten proyectar la confiabilidad, probabilidad de falla y número de fallas para el periodo que estime conveniente el jefe de mantenimiento. Todo esto se logra ingresando la fecha de inicio y término de una interrupción de un subequipo a través de los distintos formularios que posee el software.

Como se señaló en el Capítulo II, el laminador de perfiles de Gerdau Renca cuenta actualmente con ocho zonas; Horno Galopante, Desbaste, Tren Medio, Tren Acabador, Parrilla Enfriamiento, Empaquetado, Utilidades y Subestación Eléctrica, cada una de éstas está compuesta por equipos, cada equipo tiene sus propios subequipos y por último cada subequipo tiene sus ocurrencias que vendrían siendo las piezas, instrumentos o artefactos de éste último.

Cada una de las interrupciones por averías eléctricas, electrónicas o mecánicas que ha sufrido el laminador desde el año 2004, se encuentran registradas en un software llamado “*Nivel 2*”, en éste es posible declarar cada “ocurrencia” de cada subequipo del laminador, informando la “fecha de inicio y término” de la interrupción; la “disciplina” que la provocó (mecánica, eléctrica o electrónica), el “hecho” que la causó, la “causa” que provocó que ocurriese este hecho y la “acción” que se llevó a cabo para solucionar esta causa.

Dicho lo anterior, es importante destacar que con el objetivo de obtener datos los más cercanos posible a la realidad, se han establecido algunos criterios importantes y también se han incorporado nuevos datos, nombrados a continuación:

- Inicialmente en el “*Nivel 2*” se encontraban solo siete zonas enunciadas, existía una zona adicional que no se encontraba declarada a pesar de que si podían ocurrir interrupciones asociadas a ésta. Esta zona es la “subestación eléctrica”, por lo tanto se agregó en conjunto con sus equipos, subequipos y ocurrencias en el “*Nivel 2*”.

- El “Horno” que se encontraba en el “*Nivel 2*” en el momento de tomar los datos, era un “Horno” antiguo que había sido remplazado completamente en diciembre del año 2012. Los equipos, subequipos y ocurrencias no correspondían a los que tiene el “Horno Galopante” actual, al igual que todas las declaraciones de interrupciones desde diciembre del 2012 hasta julio del 2014, por lo que se procedió a actualizar el nuevo “Horno Galopante” en el “*Nivel 2*” y homologar las interrupciones declaradas del horno antiguo con el nuevo “Horno Galopante” a partir de su instalación.

- El equipo “Cizalla T4”, correspondiente a la zona “Utilidades”, es un equipo que fue remplazado en noviembre del 2013, sucediendo lo mismo que el caso anterior. Se procedió a actualizar la nueva “Cizalla T4” en el “*Nivel 2*” y a homologar todas sus declaraciones desde su instalación.

- El subequipo “Grúa Inamar”, correspondiente a la zona “Utilidades”, es una grúa completamente nueva, adquirida en noviembre del 2014, por lo que se tuvo que agregar al software “*Nivel 2*”, remplazando a la grúa que había antes en su lugar.

- Se procedió a agregar equipos, subequipos y ocurrencias de distintas zonas que no existían declaradas en “*Nivel 2*”, con el objetivo de obtener de manera completa todas las máquinas y sus piezas existentes en el laminador propensas a fallas.

- Se decidió hacer todo este estudio recopilando información a partir de los “subequipos” del laminador. Gerdau poseía información no actualizada de los “equipos” del laminador, pero se determinó que era información muy poco específica, muy global y poco confiable. Hacer el estudio a partir de las “ocurrencias” era un trabajo que podría haber tomado años y no estrictamente necesario ya que a partir de los “subequipos” se podía desprender información suficiente para lograr los cambios necesarios.

- La nube de datos para realizar todos los cálculos, se recopilaron desde el 01 de enero del 2010 hasta el 25 de noviembre del 2014, exceptuando aquellos equipos y subequipos que se instalaron posterior al 2010, en cuyos casos se recopiló información a partir de su instalación. Se ha elegido este intervalo tiempo por que corresponde a un periodo donde Gerdau ha tenido una producción estable, no siendo una variable a la hora de analizar las interrupciones. Sin embargo el último año (2014), ha sido un año complicado en ventas y producción por la inestabilidad económica que atraviesa el país.

- Las declaraciones de interrupciones que se encuentran asignadas en el software “Nivel 2” de cada subequipo del laminador Gerdau Renca, no pueden traspasarse directamente al software de mantenimiento creado, esto, porque una misma interrupción de un determinado subequipo con su respectiva ocurrencia puede estar declarado numerosas veces. Esto sucede debido a que después de aplicar la acción, para solucionar la causa que originó la interrupción, existe un periodo de rodaje. No obstante en ese periodo el laminador se encuentra disponible para laminar, en consecuencia, se generó un pequeño programa que soluciona este inconveniente explicado en el [Anexo 11](#) (Manual de Usuario).

- Es importante mencionar que para el cálculo de la confiabilidad y disponibilidad de los equipos de laminador Renca, se sabe que el laminador a nivel de subequipos se encuentra completamente en serie, exceptuando las bombas del pozo acumulador 1, 2 y 3, que se encuentran en redundancia

parcial 3 sobre 2, esto quiere decir que a pesar que se encuentran en funcionamiento 3 bombas, 2 son capaces de bombear el agua requerida en la instalación.

4.3. Análisis Funcionamiento del Software de Mantenimiento

Una vez *ingresadas* y *actualizadas* las interrupciones de los subequipos del laminador a través de los formularios “INGRESO INTERRUPCIONES” y “DATOS PARA ACTUALIZAR INDICADORES” respectivamente ([Anexo 11](#)), el algoritmo procede a ingresar estos datos a las hojas de Excel que corresponde a cada subequipo como se aprecia en la *tabla 4.1*. La Fecha Inicio corresponde a la fecha de inicio de la interrupción y la Fecha Término corresponde a la fecha de término que tuvo lugar la misma interrupción

ZONA	EQUIPO	SUBEQUIPO	DISCIPLINA	FECHA INICIO	FECHA TERMINO
Horno_Galopante	Mesa_Carga	Mesa_Rompe_Paquete	volver	-	01-12-2012 00:00:00
Horno_Galopante	Mesa_Carga	Mesa_Rompe_Paquete	Mecanica	29-01-2013 02:35:07	29-01-2013 03:17:06
Horno_Galopante	Mesa_Carga	Mesa_Rompe_Paquete	Electronica	30-01-2013 08:13:02	30-01-2013 08:21:33
Horno_Galopante	Mesa_Carga	Mesa_Rompe_Paquete	Electronica	17-05-2013 05:05:21	17-05-2013 05:09:39
Horno_Galopante	Mesa_Carga	Mesa_Rompe_Paquete	Electronica	08-09-2013 11:10:01	08-09-2013 11:15:01
Horno_Galopante	Mesa_Carga	Mesa_Rompe_Paquete	Electronica	10-12-2013 00:26:35	10-12-2013 00:30:50
Horno_Galopante	Mesa_Carga	Mesa_Rompe_Paquete	Electronica	17-02-2014 12:44:34	17-02-2014 12:52:48
Horno_Galopante	Mesa_Carga	Mesa_Rompe_Paquete	Electronica	03-03-2014 15:17:59	03-03-2014 15:28:02
Horno_Galopante	Mesa_Carga	Mesa_Rompe_Paquete	Electronica	05-03-2014 07:33:00	05-03-2014 07:37:03
Horno_Galopante	Mesa_Carga	Mesa_Rompe_Paquete	Electronica	06-03-2014 13:11:54	06-03-2014 13:19:40
Horno_Galopante	Mesa_Carga	Mesa_Rompe_Paquete	Electronica	25-09-2014 01:18:38	25-09-2014 01:21:48

Tabla 4.1: Ejemplo de Ingreso de Datos

Fuente: Software de Mantenimiento Gerdau

Posterior a esto el algoritmo calcula el *tiempo de reparación* (TTR) de cada interrupción y pega la última *fecha de actualización* en la hoja correspondiente por que será un parámetro importante a la hora de generar los cálculos, todo esto se aprecia en la *tabla 4.2*.

FECHA INICIO	FECHA TERMINO	TTR	FECHA ACTUALIZACION
-	01-12-2012 00:00:00	-	25-11-2014
29-01-2013 02:35:07	29-01-2013 03:17:06	0:41:59	
30-01-2013 08:13:02	30-01-2013 08:21:33	0:08:31	
17-05-2013 05:05:21	17-05-2013 05:09:39	0:04:18	25-09-2014
08-09-2013 11:10:01	08-09-2013 11:15:01	0:05:00	
10-12-2013 00:26:35	10-12-2013 00:30:50	0:04:15	
17-02-2014 12:44:34	17-02-2014 12:52:48	0:08:14	
03-03-2014 15:17:59	03-03-2014 15:28:02	0:10:03	
05-03-2014 07:33:00	05-03-2014 07:37:03	0:04:03	
06-03-2014 13:11:54	06-03-2014 13:19:40	0:07:46	
25-09-2014 01:18:38	25-09-2014 01:21:48	0:03:10	

Tabla 4.2: Ejemplo Calculo TTR y Fecha Actualización

Fuente: Software de Mantenimiento Gerdau

Ingresados y calculados los datos anteriores, el algoritmo comienza a hacer los cálculos más importantes que son el *tiempo de funcionamiento* (TBF) entre interrupciones, el *factor utilización*, ordena de mayor a menor el TBF x Factor, genera un *ranking* descendiente, calcula el *rango de la mediana* (RM), la ecuación lineal de regresión [$\ln(t - \gamma)$ y $\ln(\ln(1 / (1 - RM)))$], y por último el *número total de eventos*, como se ve en la *tabla 4.3*.

TBF	TBF x FACTOR (HRS)	TBF ORDEN	RANKING TBF	F(t) RM	R(t)	Ln(t-γ)	Ln(Ln(1/(1-RM)))	TOTAL EVENTOS
1418:35:07	1418,585278	28,93222222	1	0,061403509	0,938596491	3,36495593	-2,758770808	11
28:55:56	28,93222222	29,58083333	2	0,149122807	0,850877193	3,387126629	-1,823327725	
2564:43:48	1923,5475	40,08277778	3	0,236842105	0,763157895	3,69094676	-1,308258602	
2742:00:22	2056,504583	338,4197222	4	0,324561404	0,675438596	5,824286907	-0,935491323	
2221:11:34	2221,192778	1243,241167	5	0,412280702	0,587719298	7,125477093	-0,632041114	
1668:13:44	1668,228889	1418,585278	6	0,5	0,5	7,257415371	-0,366512921	
338:25:11	338,4197222	1668,228889	7	0,587719298	0,412280702	7,419517797	-0,120980941	
40:04:58	40,08277778	1923,5475	8	0,675438596	0,324561404	7,561926416	0,11803237	
29:34:51	29,58083333	2056,504583	9	0,763157895	0,236842105	7,628763016	0,364894181	
4859:58:58	3644,987083	2221,192778	10	0,850877193	0,149122807	7,705799618	0,643423761	
1462:38:12	1243,241167	3644,987083	11	0,938596491	0,061403509	8,201108101	1,026144924	

Tabla 4.3: Ejemplo Calculos a partir de Fecha Inicio y Terminio.

Fuente: Software de Mantenimiento Gerdau

El factor de utilización, es un valor entre 0 y 1, un valor 1 indica que el laminador se mantuvo en funcionamiento las 24 horas del día durante todos los meses de evaluación y un valor menor a 1, señala que el laminador se detuvo por motivos como restricciones eléctricas, paradas por necesidades de la empresa, etc. El

objetivo de este factor es multiplicar el “tiempo de funcionamiento” que existió entre fallas, con el fin de obtener una disponibilidad lo más cercana a la realidad posible, ya que este indicador depende del tiempo medio de funcionamiento (MTBF). La manera de calcular este indicador se encuentra detalladamente explicado en el [Anexo 11](#).

Conociendo los datos anteriores, el algoritmo comienza a calcular los parámetros de Weibull (parámetro de forma β , escala α , coeficiente de correlación r , coeficiente de determinación r^2), a través del método mínimos cuadrados mencionados en el Capítulo III. Para aquello, de la ecuación de la recta de regresión [$\ln(t - \gamma)$ y $\ln(\ln(1 / (1 - RM)))$], se ha procedido a aplicar las fórmulas “Pendiente”, “Intersección.eje”, “Pearson”, y “Coeficiente.R²” en Excel para encontrar los datos necesarios que permitirán hallar los parámetros antes mencionados.

α (ESCALA)	β (FORMA)	γ (LOCALIZACION)	INTERSECCION	r^2	r	RESTRICCION
1407,463664	0,54765276	0	-3,9702331	0,85299436	0,92357694	28,92222222
		Calculo de γ		85%	92%	

Tabla 4.4: Ejemplo Calculos Parámetros Weibull

Fuente: Software de Mantenimiento Gerdau

En la *tabla 4.4* se encuentra un ejemplo con los parámetros de Weibull calculados, destacando que el valor “ r ”, indica que hay una excelente relación (dependencia) lineal de los datos, ya que su valor está muy próximo a uno (0,92), y el coeficiente de determinación, r^2 , indica que el 85% de los datos están relacionados linealmente. En conclusión, estos valores indican que la muestra se comporta conforme a la función de densidad de Weibull.

El cálculo del factor de localización se llevará a cabo de manera automática a través de la herramienta Solver, siempre y cuando el factor de forma sea mayor a 10 como se indicó en el Capítulo III. Sin embargo cuando el jefe de mantenimiento determine que se debe aplicar el factor de localización por otros motivos como los son los

explicados en el capítulo anterior, bastará con que seleccione el botón “Calculo de γ ” para que calcule el factor de localización γ y además actualice todos los otros parámetros de Weibull.

Los cálculos antes mostrados se pueden comprobar gráficamente a través de la recta de regresión como la que se muestra en la *gráfica 4.1*.

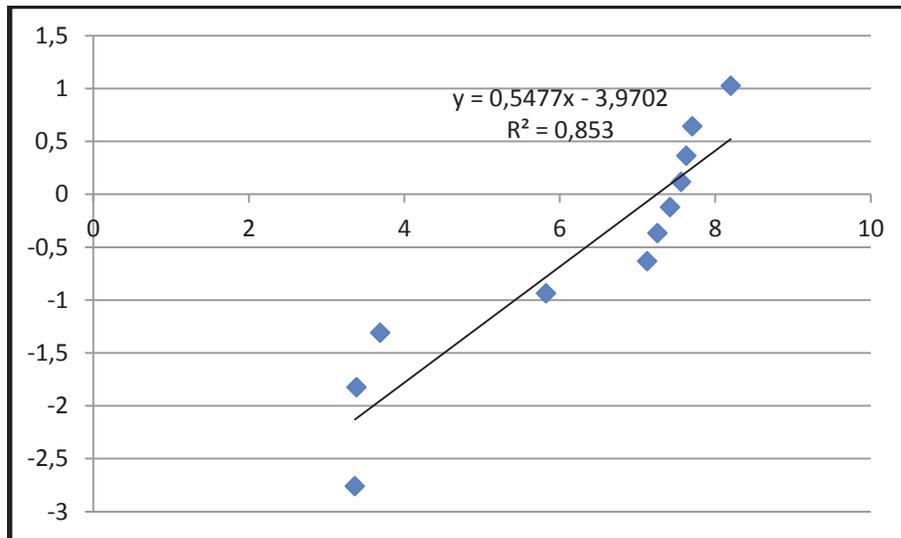


Gráfico 4.1: Ejemplo Gráfico Recta de Regresión
Fuente: Software de Mantenimiento Gerdau

A continuación, el algoritmo realiza tres cálculos trascendentales, la suma de los *tiempos de reparación* (TTR), el *tiempo medio de reparación* (MTTR) y el *tiempo medio de funcionamiento* (MTBF), además de introducir el periodo de evaluación para la confiabilidad, probabilidad de falla, etc. El detalle de esto se ve en la *tabla 4.5*.

SUMA TTR (hrs)	MTTR	MTBF	Horas en Operacion
1,621944444	0,14744949	2412,0303	MES
	0,1	2.412	4320

Tabla 4.5: Ejemplo Calculos MTTR y MTBF
Fuente: Software de Mantenimiento Gerdau

Finalmente el algoritmo realiza los cálculos de los indicadores más significativos como lo es la confiabilidad, disponibilidad, tasa de fallas, probabilidad de fallas, etc. (Tabla 4.6).

CONFIABILIDAD	DISPONIBILIDAD	TASA FALLAS	DENSIDAD PROB FALLA	INDISPONIBILIDAD	PROB DE FALLA
0,157531559	0,999938873	0,00023429	3,69081E-05	6,11271E-05	0,842468441
15,8%	99,99%			0,01%	84%

Tabla 4.6: Ejemplo Calculo Indicadores

Fuente: Software de Mantenimiento Gerdau

Para realizar los gráficos de manera automática, el algoritmo hace una gran cantidad de pasos, primero las horas de operación las divide en 20, seguidamente genera 21 tiempos a partir de 0, todos ellos separados en magnitud por el resultado de la división de las horas de operación. Con estas 21 muestras de tiempo, el algoritmo procede a calcular la confiabilidad, tasa de falla, densidad probabilidad de falla y la probabilidad de falla, cada una de ellas 21 veces con cada tiempo (tabla 4.7). Estas muestras, el algoritmo las toma y genera los gráficos que solicite el jefe de mantenimiento.

Horas en Operacion	CONFIABILIDAD	DISPONIBILIDAD	TASA FALLAS	DENSIDAD PROB FALLA	INDISPONIBILIDAD	PROB DE FALLA
MES	0,157531559	0,999938873	0,00023429	3,69081E-05	6,11271E-05	0,842468441
4320	15,8%	99,99%			0,01%	84%
216						
Muestreo	Muestreo	Muestreo Fallas	Muestreo	Muestreo		Muestreo
0	100	0	0	0		0
216	69,88790027	0,05060666	0,000908388	0,000634853		30,11209973
432	59,23269901	0,101213321	0,000663898	0,000393245		40,76730099
648	52,00097264	0,151819981	0,000552646	0,000287381		47,99902736
864	46,51059602	0,202426642	0,000485211	0,000225675		53,48940398
1080	42,1054516	0,253033302	0,000438626	0,000184685		57,8945484
1296	38,44964839	0,303639963	0,000403903	0,000155299		61,55035161
1512	35,34490473	0,354246623	0,000376698	0,000133144		64,65509527
1728	32,66320224	0,404853284	0,000354618	0,00011583		67,33679776
1944	30,31659795	0,455459944	0,000336219	0,00010193		69,68340205
2160	28,24185606	0,506066605	0,000320571	9,05352E-05		71,75814394
2376	26,39188209	0,556673265	0,000307044	8,10346E-05		73,60811791
2592	24,73061173	0,607279925	0,000295193	7,30031E-05		75,26938827
2808	23,229794	0,657886586	0,000284696	6,61344E-05		76,770206
3024	21,86687788	0,708493246	0,000275311	6,02019E-05		78,13312212
3240	20,6235739	0,759099907	0,000266851	5,50343E-05		79,3764261
3456	19,48484571	0,809706567	0,000259174	5,04996E-05		80,51515429
3672	18,43818501	0,860313228	0,000252163	4,64943E-05		81,56181499
3888	17,4730788	0,910919888	0,000245727	4,2936E-05		82,5269212
4104	16,58061043	0,961526549	0,00023979	3,97586E-05		83,41938957
4320	15,75315588	1,012133209	0,00023429	3,69081E-05		84,24684412

Tabla 4.7: Ejemplo Muestra 21 Tiempos.

Fuente: Software de Mantenimiento Gerdau

Otro tipo gráfico automático (gráfico 4.2) que realiza el software, son los gráficos “*Jack-Knife*”, su fin es determinar las prioridades de mantenimiento. Es básicamente un gráfico de dispersión, donde se grafican puntos basados en 2 parámetros; duración promedio de paradas (Y), y números de paradas (X), para graficar los cuadrantes tienes que tener en cuenta que la línea que se dibujará paralelo al eje X, viene asociado con la mantenibilidad, y de manera similar la línea paralela al eje Y está asociado con la confiabilidad. Gracias a estas líneas ya se pueden distinguir 4 cuadrantes. El primer cuadrante, representan las fallas de grado de impacto LEVE y con POCA FRECUENCIA. El segundo cuadrante izquierdo-superior, muestra un estado GRAVE debido al tiempo prolongado de mantenimiento por falla, a la misma vez el grado de ocurrencia sigue siendo POCO FRECUENTE. El tercer cuadrante derecho-inferior, muestran los puntos donde las fallas son más frecuentes (CRONICAS), pero representando un intervalo de mantenimiento por fallas de corta

duración. El Cuarto y último cuadrante, es el que combina las fallas CRONICAS con las de mayor duración (GRAVES), es en sí el cuadrante más crítico.

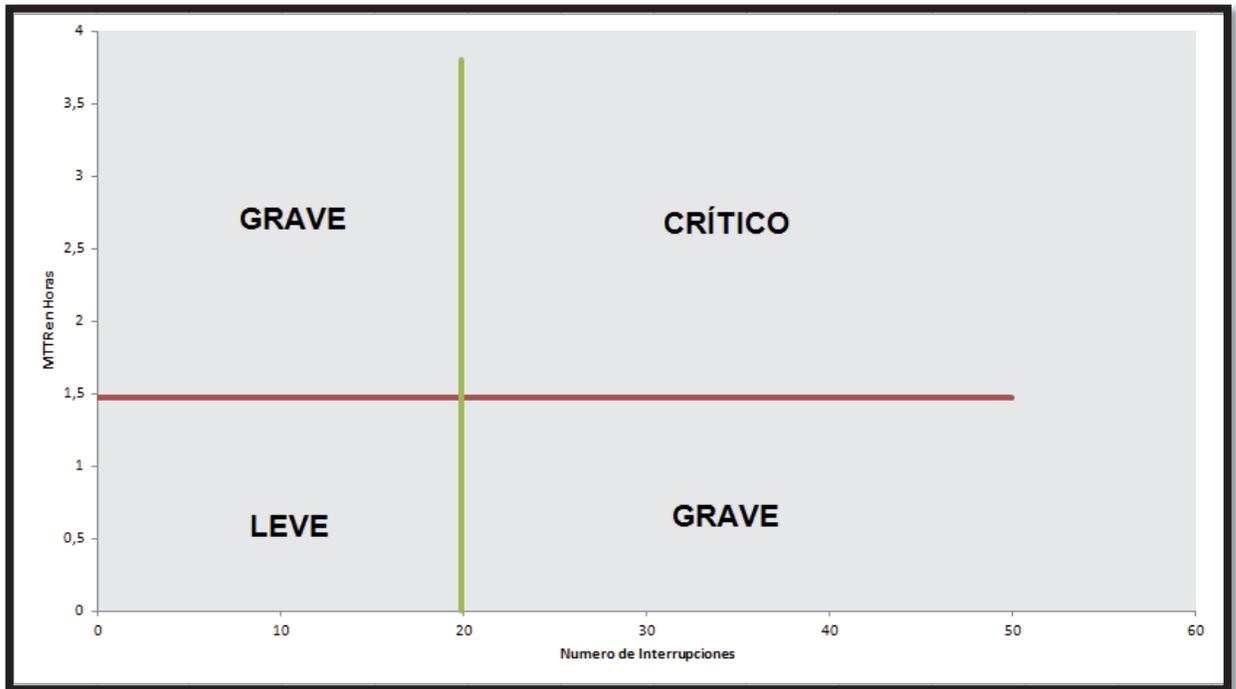


Gráfico 4.2: Ejemplo Grafico Jack Knife

Fuente: Software de Mantenimiento Gerdau

En el [Anexo 4](#) se presenta el desarrollo de los algoritmos más importantes que se han implementado en este software, es importante mencionar que para el desarrollo de este software se han elaborado más de 500.000 líneas escritas de algoritmos, haciendo de este programa un software bastante complejo a la hora de modificar datos pero bastante amigable para su utilización.

Concluyendo con los procedimientos de cálculo que realiza el algoritmo, se podrá observar de manera automática y actualizada, a través del software de mantenimiento, todos los cálculos de los 434 subequipos del laminador de Renca, repasando su confiabilidad, disponibilidad, tiempo medio de reparación, gráficos de estadística, gráficos Jack Knife, entre otros.

El objetivo de este gran procedimiento es poder determinar cuáles son los subequipos, equipos y zonas más críticas, para poder en un futuro implementar de manera correcta un plan de mantenimiento a los subequipos que correspondan.

El manual de usuario de este software donde se enseña detalladamente su uso, se encuentra disponible en el [Anexo 11](#).

4.4. Análisis Resultados Software de Mantenimiento

En este análisis, se ha tomado una nube de datos desde 01 de enero del 2010 hasta 25 de noviembre del 2014. A partir de esto se ha estimado a través del software de mantenimiento, especialmente diseñado a partir de esta memoria, que zonas, equipos y subequipos son los más críticos del laminador, haciendo un estudio más detallado de aquellos subequipos que son sumamente críticos. Para esto, no solo se han utilizado las herramientas que ofrece el software sino también las herramientas que ofrece la confiabilidad operacional mencionadas en el capítulo anterior.

4.4.1. Gráfico Jack-Knife Zonas, Equipos y Subequipos Críticos

A continuación se presenta el análisis de los gráficos Jack-Knife otorgados por el software, que permitirán determinar que zonas, equipos y subequipos son los más críticos del laminador según este criterio.

No se hará mención de todos subequipos críticos que arroja esta herramienta, sino de solo aquellos que son críticos dentro de los críticos, subequipos que pueden involucrar una gran pérdida de dinero para Gerdau.

El gráfico 4.3 muestra de manera general, es decir, considerando todas las disciplinas (mecánica, eléctrica y electrónica), todas las zonas del laminador. Se

observa que la zona más crítica del laminador es el “Tren Acabador”, obteniendo en este periodo una cantidad de 484 interrupciones y un MTTR de 33 horas, seguido de la “Parrilla”, presente en una cuadrante grave, que tiene 288 interrupciones y un MTTR de 8,5 horas.

Es sustancial mencionar que una manera de comparar que zonas, equipos o subequipos son más críticos que otros. En el caso que se encuentren en posiciones similares en el gráfico, es multiplicando la cantidad de interrupciones por el MTTR, obteniendo así, la cantidad de horas promedio que ha estado el laminador detenido por fallas. En este caso, la “Parrilla de Enfriamiento”, ha estado más tiempo detenida en este periodo que las zonas en posiciones similares en el grafico.

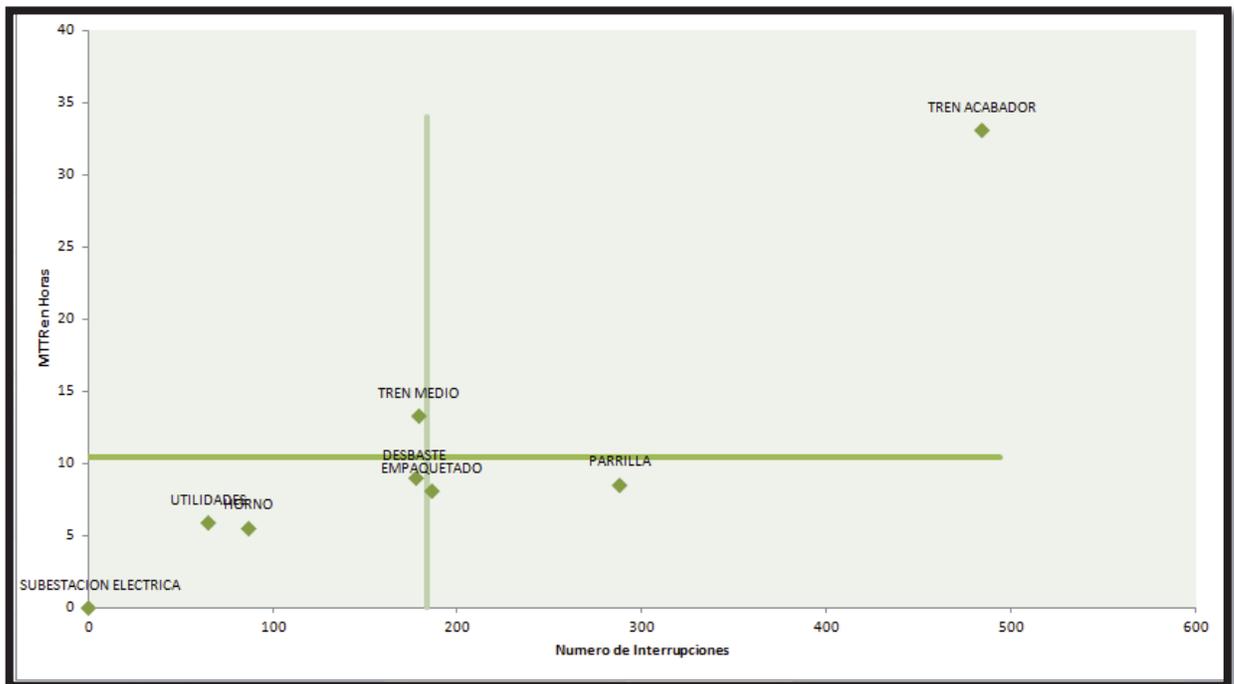


Gráfico 4.3: Gráfico Jack-Knife Zonas del Laminador

Fuente: Software de Mantenimiento Gerdau

Haciendo énfasis ahora, en las dos zonas más críticas del laminador, en el gráfico 4.4 se observan todos los equipos del “Tren Acabador”, los equipos más críticos del “Tren Acabador” son la “Cizalla T3”, “Stand A5” y el “Stand A6”, de estos 3 equipos

sobresale en su criticidad la “Cizalla T3” con 189 interrupciones y un MTTR de 4,3 horas, generando además que el laminador haya estado detenido 813 horas por fallas en este equipo, muy superior al resto de los equipos críticos “Stand A5” y el “Stand A6”.

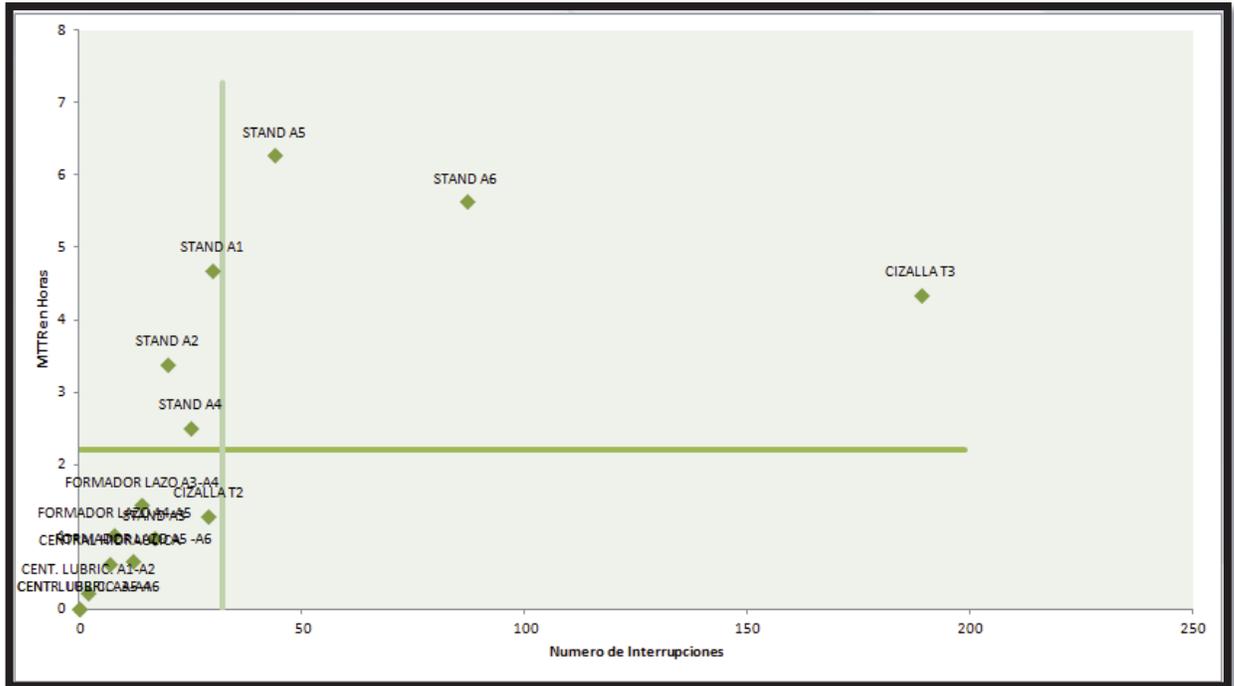


Gráfico 4.4: Gráfico Jack-Knife Tren Acabador

Fuente: Software de Mantenimiento Gerdau

En el caso de la “Parrilla”, en el gráfico 4.5, se observan todos sus equipos, sus dos equipos más críticos son los “Cajones” y la “Parrilla de Enfriamiento”, en este caso ambos tienen prácticamente igual criticidad ya que los “Cajones” tienen 144 interrupciones y un MTTR de 2,4 horas, generando una detención total de 274 horas del laminador, y la “Parrilla de Enfriamiento” tiene 72 interrupciones con un MTTR de 3.7 horas, provocando una detención total de 265 horas del laminador.

En este caso como ambos equipos son de prácticamente igual criticidad, se procederá a seguir analizando ambos equipos por este método, esperando que otros

métodos de análisis que se harán más adelante permitan jerarquizar la importancia de uno sobre el otro.

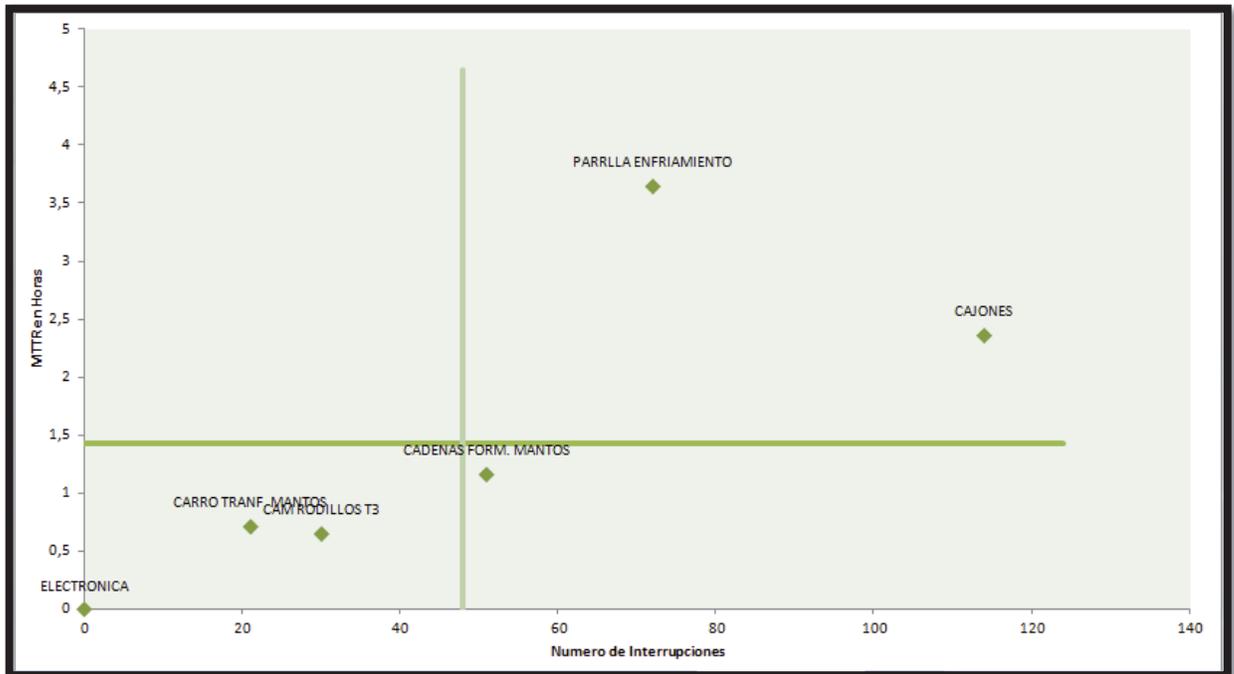


Gráfico 4.5: Gráfico Jack-Knife Parrilla

Fuente: Software de Mantenimiento Gerdau

En el gráfico 4.6 se ven los subequipos de la “Cizalla T3”, no existen subequipos en el cuadrante más crítico, sin embargo se hallan dos subequipos en los cuadrantes graves, el “Mecanismo de Corte” y la “Lubricación Automática”, entre ambos, el “Mecanismo de Corte” sobresale de la “Lubricación Automática”, ya que posee 85 interrupciones con un MTTR de 0,44 horas, provocando una detención del laminador de 37 horas, muy por encima de las 3,9 horas que genera la “Lubricación Automática”.

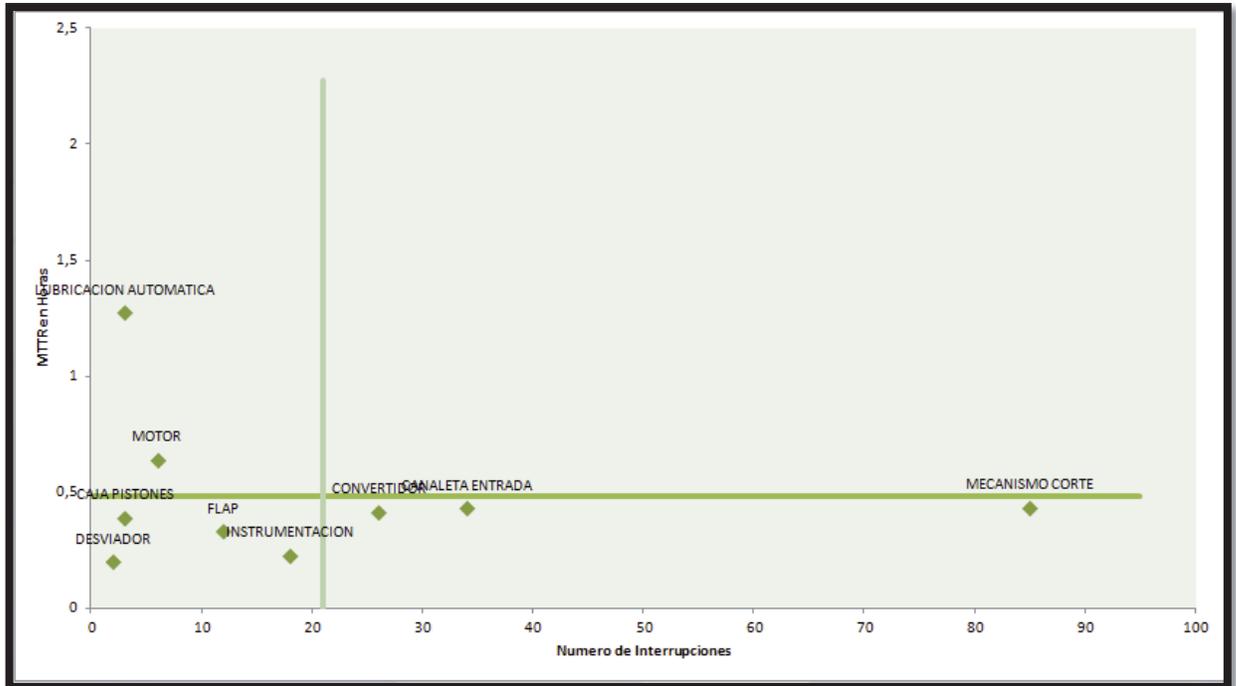


Gráfico 4.6: Gráfico Jack-Knife Cizalla T3

Fuente: Software de Mantenimiento Gerdau

Analizando el gráfico 4.7, donde se encuentran todos los subequipos de la “Parrilla de Enfriamiento”, se aprecia que existen dos subequipos en el cuadrante más crítico, los “Peines” y las “Excéntricas”, claramente y solo por inspección visual el subequipo más crítico entre los dos son los “Peines”, teniendo 25 interrupciones y un MTTR de 0,98 horas, induciendo 25 horas de detención del laminador.

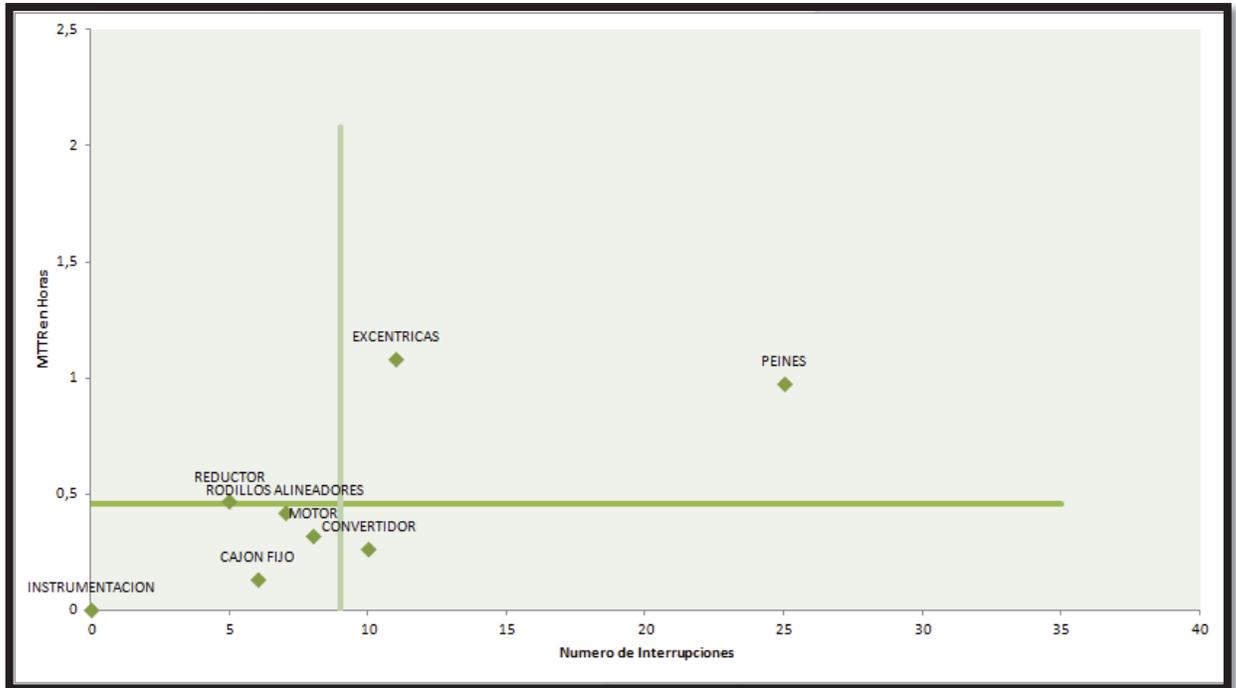


Gráfico 4.7: Gráfico Jack-Knife Parrilla Enfriamiento

Fuente: Software de Mantenimiento Gerdau

Examinando el gráfico 4.8, donde se visualizan todos los subequipos de los “Cajones”, existen dos subequipos críticos, el sistema de “Accionamiento” y los “Cajones”, al igual que el caso anterior, simplemente por inspección visual, los “Cajones” es el subequipo más crítico entre los dos, generando 59 interrupciones y un MTTR de 0,65 horas, producto de este subequipo el laminador estuvo detenido 38 horas.

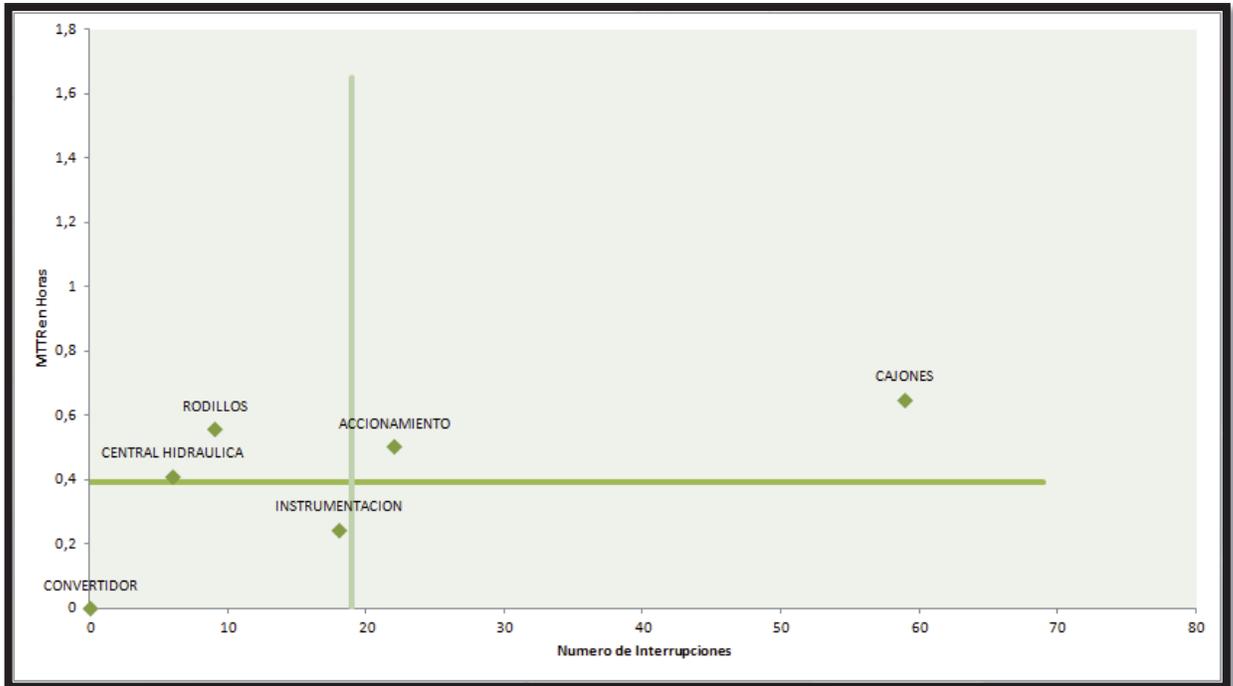


Gráfico 4.8: Gráfico Jack-Knife Cajones

Fuente: Software de Mantenimiento Gerdau

En resumen, el subequipo más crítico del laminador, según diagrama Jack-Knife, es el “Mecanismo de Corte”, generando una detención de 37 horas al laminador, lo que equivale aproximadamente a un 5% del tiempo total que el laminador ha estado detenido (768 horas). Jack-Knife nos plantea además que el segundo subequipo más crítico son los “Cajones”, provocando una detención de 38 horas lo que equivale también aproximadamente al 5% del tiempo total que ha estado detenido el laminador. Lo que hace que los “Cajones” se encuentren en segundo lugar es solo el hecho que la zona “Tren Acabador” es más crítica que la “Parrilla”.

Otra herramienta que ofrece el software diseñado, a través de Jack-Knife, es saber cuál es la disciplina más crítica dentro de estos dos subequipos más críticos. En los gráficos 4.9; 4.10; y 4.11, se aprecia que el mecanismo de corte solo es crítico para la disciplina mecánica, por lo tanto a la hora de generar un plan de mantenimiento para este subequipo se debe dar especialmente énfasis en solucionar las fallas mecánicas, dejando en segundo plano las eléctricas y electrónicas.

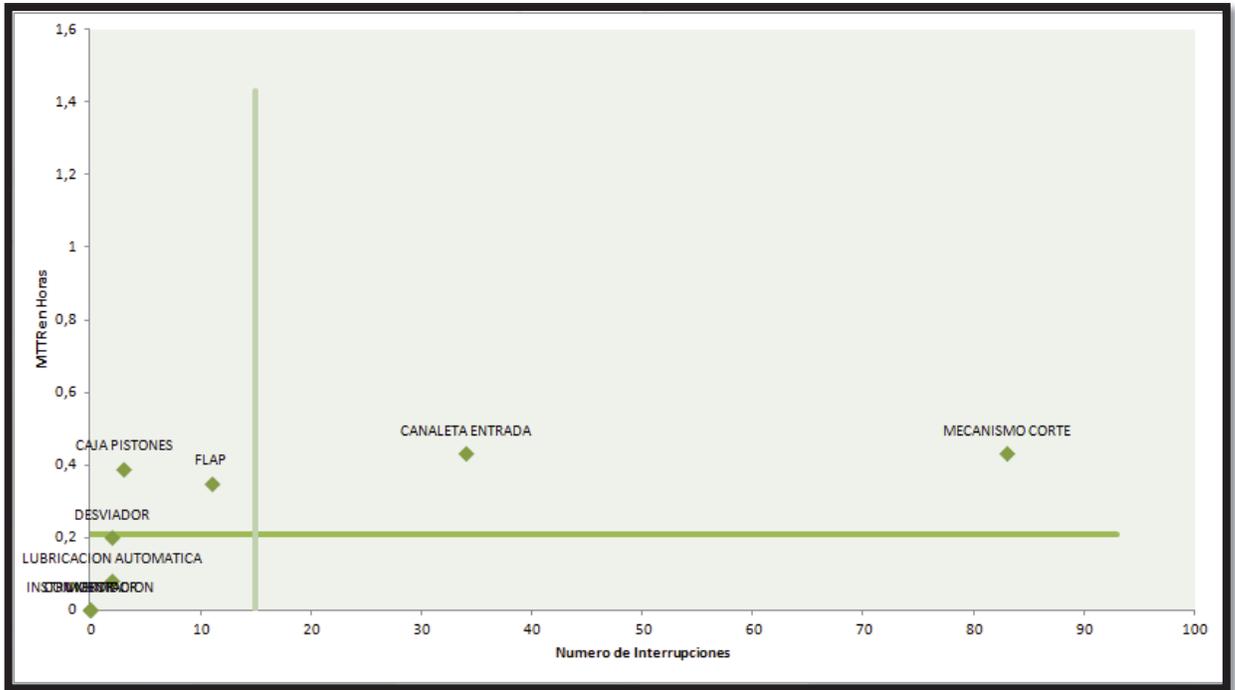


Gráfico 4.9: Gráfico Jack-Knife Cizalla T3 Disciplina Mecánica

Fuente: Software de Mantenimiento Gerdau

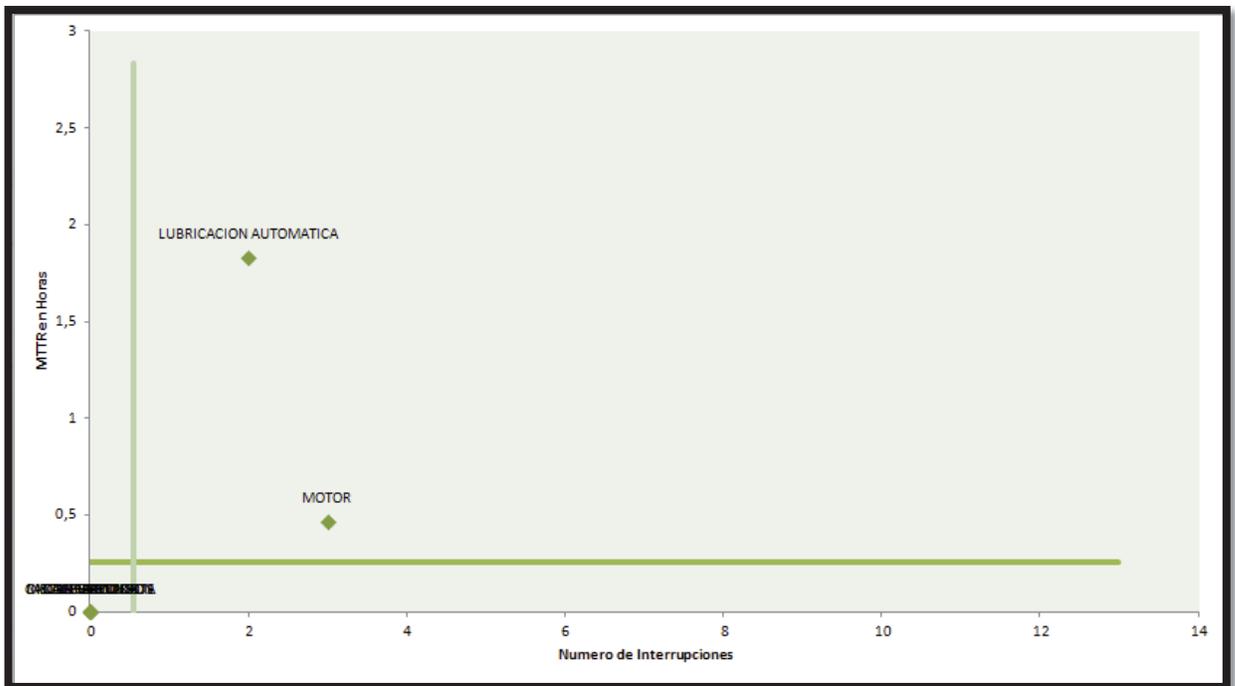


Gráfico 4.10: Gráfico Jack-Knife Cizalla T3 Disciplina Eléctrica

Fuente: Software de Mantenimiento Gerdau

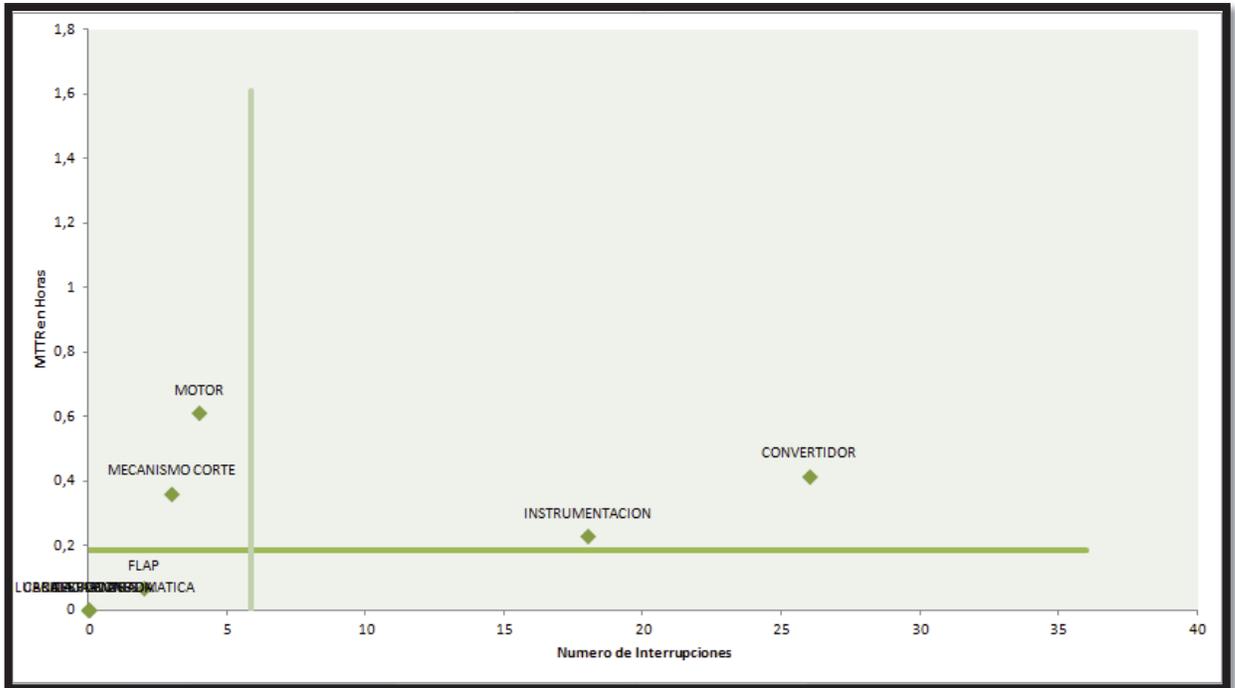


Gráfico 4.11: Gráfico Jack-Knife Cizalla T3 Disciplina Electrónica

Fuente: Software de Mantenimiento Gerdau

Con respecto al subequipo “Cajones”, a través del gráfico 4.12; 4.13; y 4.14, se analiza que las fallas mecánicas son realmente críticas, ya que en las fallas eléctricas y electrónicas los “Cajones” no se encuentran en su cuadrante mas crítico, por lo que habrá que dar real importancia en generar un sólido plan de mantenimiento para evitar estas fallas mecánicas.

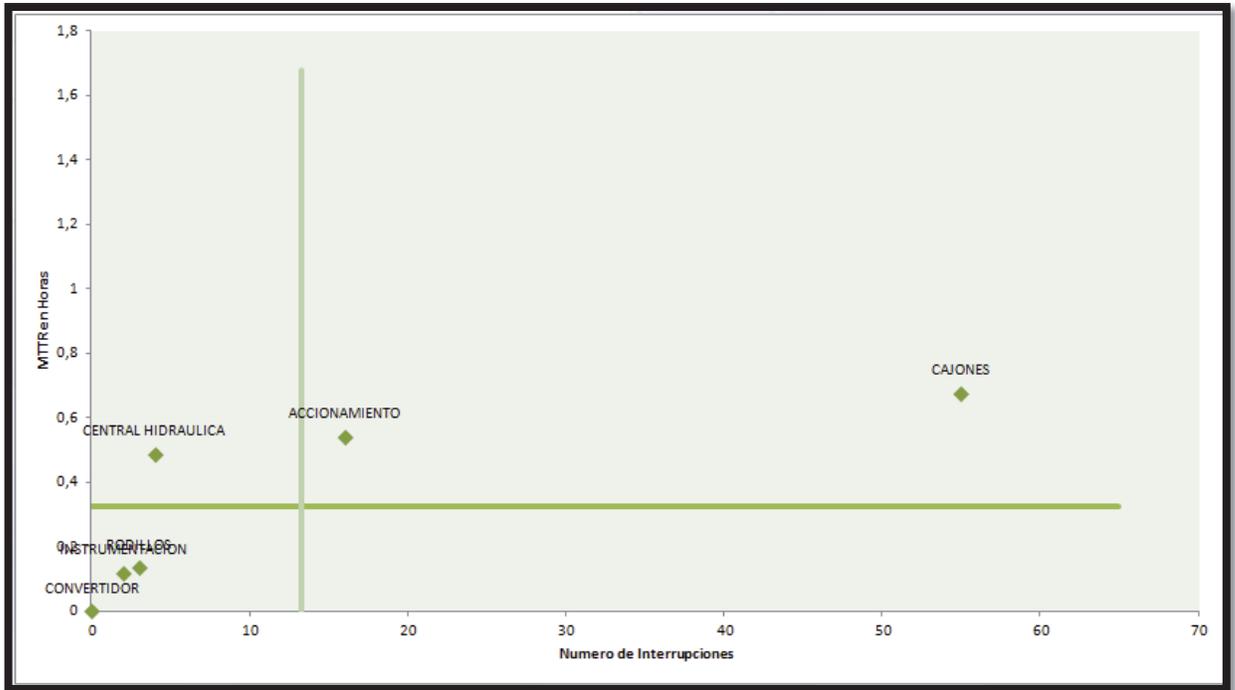


Gráfico 4.12: Gráfico Jack-Knife Cajones Disciplina Mecánica

Fuente: Software de Mantenimiento Gerdau

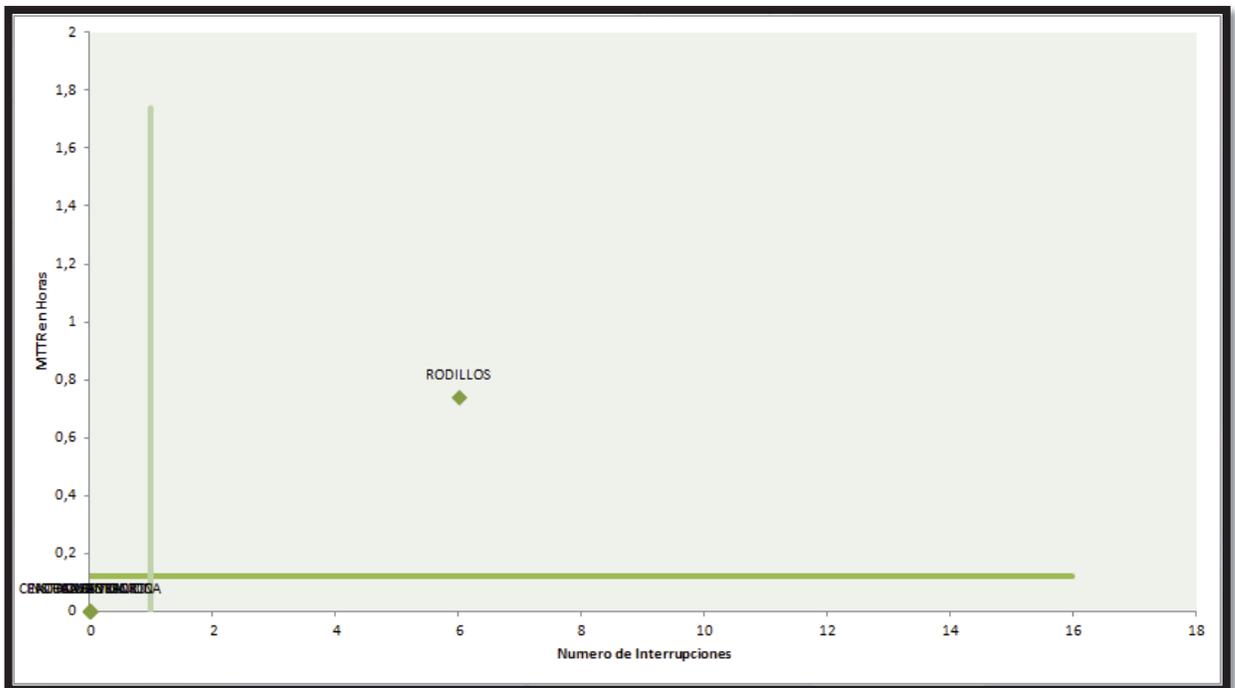


Gráfico 4.13: Gráfico Jack-Knife Cajones Disciplina Eléctrica

Fuente: Software de Mantenimiento Gerdau

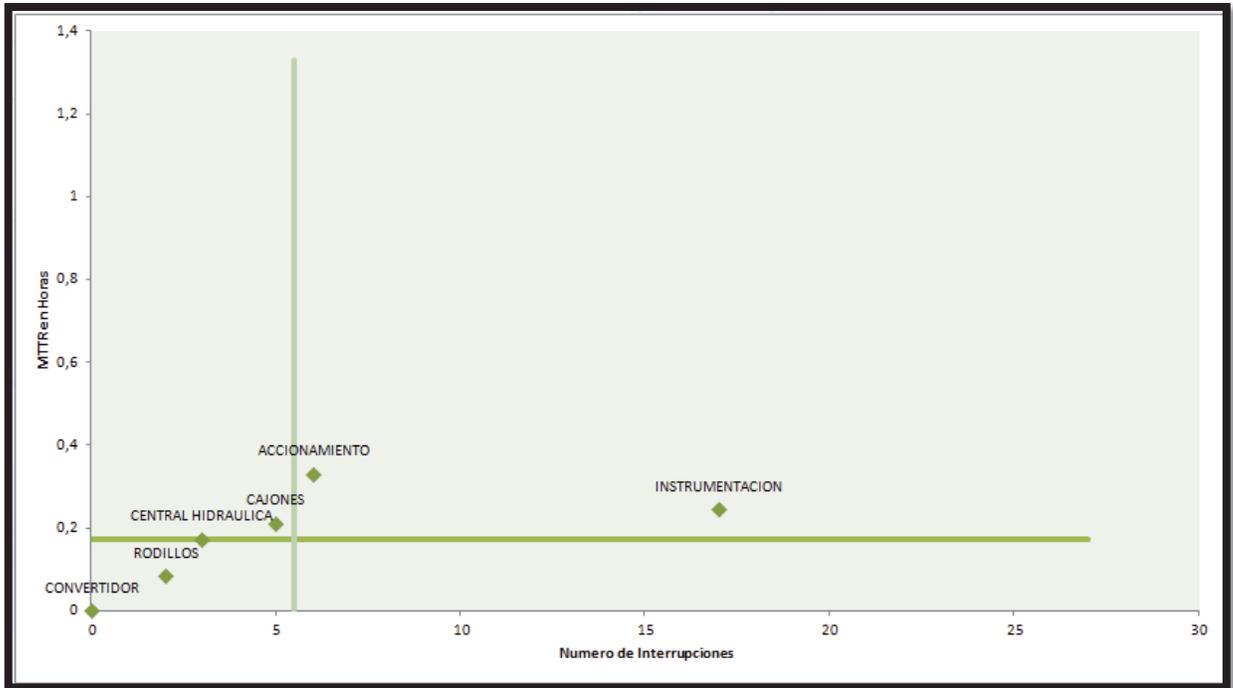


Gráfico 4.14: Gráfico Jack-Knife Cajones Disciplina Electrónica

Fuente: Software de Mantenimiento Gerdau

Concluyendo, si el jefe de mantenimiento solo se rigiera por el método Jack-Knife para determinar cuáles son los subequipos más críticos del laminador, pondría gran parte del presupuesto anual en mantención, en solucionar las fallas mecánicas relacionadas con estos dos subequipos ya que ambos han generado el 10% de las detenciones que ha sufrido el laminador, sin embargo, se requieren otras herramientas complementarias de análisis para determinar si efectivamente estos dos subequipos son los realmente críticos, o si existen otros igual o más críticos.

4.4.2. Análisis Criticidad Subequipos del Laminador

A través de Jack-Knife ya se determinó cuales son los dos subequipos más críticos del laminador según este criterio, a continuación se presenta el Análisis de Criticidad, herramienta de la confiabilidad operacional, que otorga otra jerarquización de los subequipos más críticos del laminador, de manera más subjetiva. Al final de este

análisis se procederá a comparar ambas herramientas, y con ello se establecerá que subequipos críticos tienen en común.

Los criterios para desarrollar un Análisis de Criticidad están asociados con el medio ambiente, la seguridad, costos de operación y mantenimiento, número de fallas y tiempos de reparación. Cada uno de estos criterios tendrán asignados valores dependiendo de la gravedad. Mientras mayor sea la gravedad mayor será el valor asignado. Al final del análisis se verá una lista de los subequipos ordenados de forma descendiente con respecto a su criticidad.

Los parámetros utilizados para este tipo de análisis son la frecuencia y la consecuencia de falla, y su determinación dependen únicamente de los requerimientos de Gerdau.

$$\diamond \text{ CRITICIDAD} = \text{FRECUENCIA} \times \text{CONSECUENCIA}$$

4.4.2.1. Frecuencia

La frecuencia representa la cantidad de veces promedio que el subequipo estuvo detenido por fallas mecánicas, eléctricas o electrónicas durante un año. Como la mayoría de los subequipos ya se encontraban funcionando desde que se tomaron los datos (01 enero del 2010), se generó un promedio de fallas por año tomando como dato los últimos 5 años de funcionamiento.

La *Tabla 4.8* muestra los valores asignados a distintas frecuencias de falla por año, las frecuencias fueron extraídas de registros históricos y los valores se obtuvieron a través de una reunión entre el jefe de mantenimiento y técnicos. Cuando el subequipo falla entre 1 y 10 veces por año su valor será ascendente y correlativo (desde el 1 al 3), sin embargo cuando la cantidad de fallas por año para el laminador es entre 10 y 20, tiene un gran impacto en la producción con pocas probabilidades de

revertir, por lo que se optó por darle un valor bastante mayor a su sucesor (6). Si el subequipo llegara a fallar más de 20 veces por año, genera un impacto en la producción imposible de revertir, por lo tanto su valor será un más elevado que su sucesor (10). El objetivo de darle valores no correlativos, es poder destacar los subequipos más críticos dentro de los críticos, y a esos, darles real importancia a la hora de reestructurar su plan de mantenimiento.

Frecuencia (Fallas/año)	Valor
Mayor a 20	10
10--20	6
5--10	3
1--5	2
0--1	1

Tabla 4.8: Valores Asignados Frecuencia de Fallas

Fuente: Gerdau S.A

4.4.2.2. Consecuencia

La consecuencia se relaciona con los efectos que tienen los distintos factores sobre la operación de los distintos subequipos que posee el laminador. Los factores que determinan la consecuencia son cuatro:

- Factor Tiempo Detención
- Factor Costo Reparación
- Factor Impacto Seguridad
- Factor Impacto Ambiental

A continuación, se presenta el detalle de cada valor que se le puede dar a los cuatro distintos factores.

4.4.2.2.1. Factor Tiempo Detención

Tiempo promedio que el subequipo no estuvo en funcionamiento por alguna falla mecánica, eléctrica o electrónica.

Factor Tiempo Detencion (min)	Valor	Detalle
Mayor a 30	5	Interrupción genera retraso de producción no recuperable dentro del mes pero no genera ruptura en el atendimento al cliente
20--30	4	Interrupción genera retraso de producción no recuperable dentro del mes y compromete de forma significativa el atendimento al cliente
10--20	3	Interrupción genera retraso de producción no recuperable dentro del mes pero no genera ruptura en el atendimento al cliente
5--10	2	Interrupción genera retraso de producción, pero con probable recuperación dentro del mes
0--5	1	Interrupción genera retraso de producción, pero recuperable dentro del mes

Tabla 4.9: Valores Factor Tiempo Detención

Fuente: Gerdau S.A

4.4.2.2.2. Factor Costo Reparación

Costo promedio para dejar operativo un subequipo, considerando repuestos, mano de obra, servicios externos.

Factor Costo Reparacion (\$)	Valor	Detalle
Sobre 2.000.000	5	Costo importante en el presupuesto mensual de mantenimiento
1.000.000 -- 2.000.000	4	Costo significativo en el presupuesto mensual de mantenimiento
500.000 -- 1.000.000	3	Costo medio en el presupuesto mensual de mantenimiento
150.000 -- 500.000	2	Costo bajo en el presupuesto mensual de mantenimiento
Menor a 150.000	1	Costo insignificante en el presupuesto mensual de mantenimiento

Tabla 4.10: Valores Factor Costo Reparación

Fuente: Gerdau S.A

4.4.2.2.3. Factor Impacto Seguridad

Accidentes o enfermedades que puedan ser provocadas por fallas de algún subequipo.

Factor Impacto Seguridad	Valor	Detalle
Accidentes Fatales	5	Accidentes o enfermedades que generan lesiones de incapacidad permanente o fatalidad en MÁS de una persona o daños materiales de grandes proporciones superiores a US\$ 5.000.000,00 o > 50% del EBITDA planeado mensual
Accidentes Graves	4	Accidentes o enfermedades que generan lesiones de incapacidad permanente o fatalidad o daños materiales de grandes proporciones entre US\$5.000.000,00 y US\$1.000.000,00 o > 25% del EBITDA planeado mensual
Accidentes leves	3	Accidentes o enfermedades que generan lesiones de incapacidad permanente o daños materiales de grandes proporciones entre US\$1.000.000,00 y US\$300.000,00 o > 10% del EBITDA planeado mensual
Accidentes menores	2	Accidentes o enfermedades que generan lesiones de incapacidad temporal o daños materiales entre US\$300.000,00 y US\$50.000,00 o > 5% del EBITDA planeado mensual
No genera incapacidades	1	Accidentes o enfermedades que generan lesiones no incapacitantes o daños materiales inferiores a US\$ 50.000,00 o < 5% del EBITDA planeado mensual

Tabla 4.11: Valores Factor Impacto Seguridad

Fuente: Gerdau S.A

4.4.2.2.4. Factor Impacto Ambiental

Daños al medio ambiente que son generados por alguna falla de un subequipo que genera contaminación.

Factor Impacto Ambiental	Valor	Detalle
Daños Severos	5	Causa daños o modificaciones severas al medio ambiente, cuyos impactos son considerados de difícil reversibilidad debido al largo plazo (+ 10 años).o posen un elevado costo para la mitigación (> US\$ 50 millones de dólares, exigiendo el provisionamiento de
Daños Relevantes	4	Causa daños o modificaciones bastante relevantes al medio ambiente, cuyos impactos causados alteran significativamente el medio ambiente, pueden ser revertidos a largo plazo (hasta 10 años).o posen un alto costo de mitigación (> US\$ 5 millones de dólares,
Daños Moderados	3	Causa daños o modificaciones moderados al medio ambiente, cuyos impactos causados alteran el medio ambiente, pueden ser revertidos en medio plazo (hasta 5 años). Costo de mitigación > US\$ 1 millón.
Daños leves	2	Causa pequeños daños o modificaciones al medio ambiente, cuyos impactos son reversibles a corto plazo (antes de 1 año). Costo de mitigación hasta US\$ 1 millón.
No genera Daños	1	Causa daños o modificaciones irrelevantes al medio ambiente cuyos impactos puede ser mitigados por acciones inmediatas y/o por la simple regeneración del propio medio ambiente

Tabla 4.12: Valores Factor Impacto Ambiental

Fuente: Gerdau S.A

4.4.2.3. Resultados Criticidad

Para calcular la consecuencia de cada subequipo se ha hecho una consideración importante, cada valor asignado a cada factor se debe elevar a un factor exponencial, que para nuestro estudio será 2. La razón de esto se debe a que los encargados del mantenimiento de Gerdau Renca, necesitan resaltar los valores críticos por sobre los medianamente críticos, si no se hace esto podría suceder que en los papeles un subequipo tenga la misma criticidad, o incluso mayor, que un subequipo que en la realidad debiese ser mucho más crítico que el otro según la experiencia.

$$\diamond \text{ Consecuencia} = (\text{Factor Tiempo Detención})^2 + (\text{Factor Costo Reparación})^2 + (\text{Factor Impacto Seguridad})^2 + (\text{Factor Impacto Ambiental})^2$$

Al multiplicar la Frecuencia por la Consecuencia se obtiene un valor de criticidad, en la *tabla 4.13* se muestra de manera descendente los 10 subequipos más críticos según este análisis

Existen gran cantidad de subequipos que se encuentran en varios equipos del laminador, por ejemplo en el Tren Acabador coexisten 6 Reductores, uno en cada Stand de los 6 que tiene. Sin embargo solo uno de ellos ha tenido una interrupción significativa que lo ha hecho un subequipo crítico, lo que no indica que los otros 5 reductores no sean críticos. Si se hiciera un análisis de criticidad agregando valores a los factores solo con los datos empíricos que existen, sería un error en este laminador, ya que existen subequipos de las mismas características, cumpliendo funciones similares, y que por lo tanto, deben tener valores iguales en el Factor Tiempo Detención, valor correspondiente al subequipo con más alto índice, entre todos los subequipos semejantes.

A los subequipos que se le implementó lo anterior son:

- Reductor: Existe un reductor que tiene un valor 5 en el Factor Tiempo Detención, ya que su tiempo de detención fue mayor a 30 minutos, por lo tanto a los otros 5 reductores se les dio el mismo valor, a pesar de no tener interrupciones.
- Convertidor: Existe un convertidor con un valor 5 en el Factor Tiempo Detención, por lo tanto a los otros 19 convertidores se les asigno el mismo valor, a pesar de no cumplir con los mismos periodos de detención.
- Grúa Kuly e Inamar: La grúa Inamar y la grúa Kuly no tienen interrupciones declaradas sin embargo se le puso factor 5 en tiempo de detención, esto se decidió así porque antes existía una grúa que tenía estos tiempos de detención y que fue remplazada por la grúa Inamar hace no más de 6 meses, por lo que se tiene una referencia de lo que se podría demorar en reparar si estas grúas fallan.

En el [Anexo 5](#) se podrá ver la lista completa de los subequipos críticos, semi críticos y no críticos, que ha otorgado el análisis de criticidad. El punto de corte de los subequipos críticos con los semi críticos, se definió en el valor final de criticidad 50, cualquier subequipo cuyo valor final sea 50 o más será crítico, se ha establecido así ya que se consideró que un valor mayor a 50 necesariamente tiene uno o más valores de sus factores muy elevados. El punto de corte de los subequipos semi críticos con los no críticos es el valor final 28, cualquier subequipo menor a 28 será no crítico, la razón de esta decisión se debe a que los subequipos no críticos no deben tener ningún valor de sus factores en el máximo (5), y los valores de sus frecuencias de fallas mantenerse entre 1 y 2.

Equipos	Subequipos	FRECUENCIA [Fallos/a]	TIEMPO DETENCION	COSTO REPARACION	IMPACTO SEGURIDAD	IMPACTO AMBIENTAL	Factor Exponencial	Consecuencia	Valor final	Criticidad
Cizalla T3	Mecanismo de corte	6	4	5	1	1	2	43	258	Crítica
Cajones	Cajones	6	5	2	1	1	2	31	186	Crítica
Stand A6	Torre	3	5	5	1	1	2	52	156	Crítica
Stand A6	Stand	3	5	5	1	1	2	52	156	Crítica
Mesa Fija	Rodillos	3	4	5	1	1	2	43	129	Crítica
Carro Transferidor mantos	Mecanismo de levante	3	5	4	1	1	2	43	129	Crítica
Transferidor de barras	Cadenas	3	5	3	1	1	2	36	108	Crítica
Mesa Fija	Impulsor 7mo Pase	2	5	5	1	1	2	52	104	Crítica
Sistema Motriz	Motor	2	5	5	1	1	2	52	104	Crítica
Sistema Motriz	Acoplamiento motor/reductor	2	5	5	1	1	2	52	104	Crítica

Tabla 4.13: Los 10 subequipos más críticos según Análisis de Criticidad

Fuente: Software Mantenimiento Gerdau

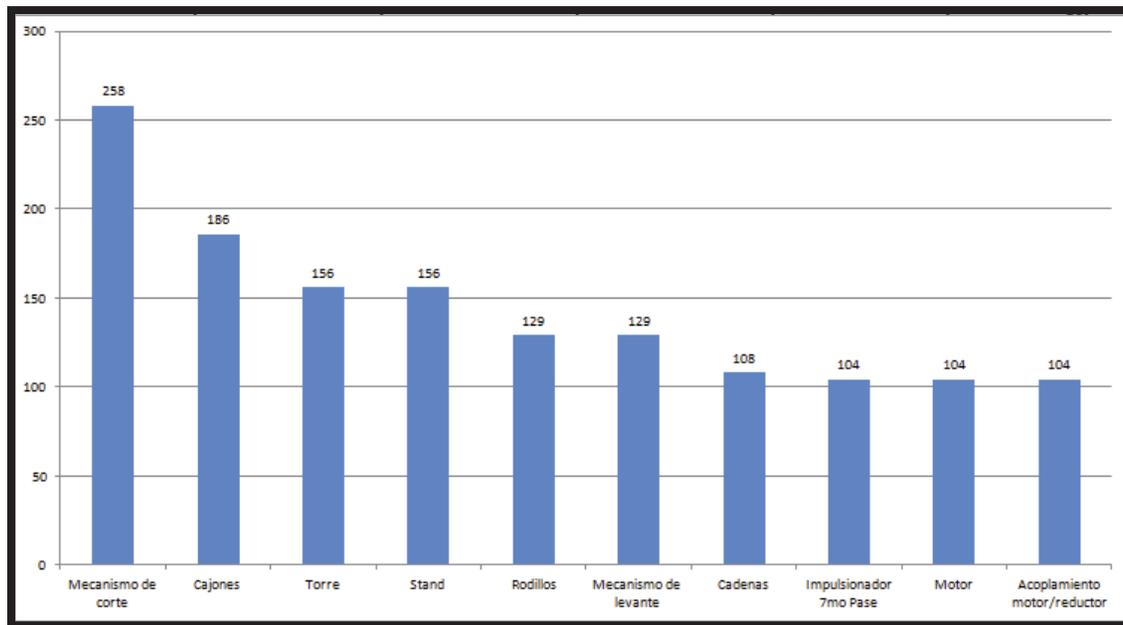


Gráfico 4.15: Comparación 10 subequipos más críticos.

Fuente: Programa Mantenimiento Gerdau

Como se aprecia en la *tabla 4.13* y en el *gráfico 4.15*, según el Análisis de Criticidad, el subequipo más crítico es el “Mecanismo de Corte” perteneciente al equipo “Cizalla T3” de la zona “Tren Acabador”, en segundo lugar se encuentra los “Cajones” del equipo “Cajones” perteneciente a la zona “Parrilla”.

Como conclusión de los dos análisis a los subequipos que se han hecho, en ambos, el subequipo más crítico es el “Mecanismo de Corte” seguido de los “Cajones”, por lo tanto ya podríamos decir que efectivamente estos dos subequipos son los que Gerdau debiese poner mayor atención a la hora de reestructurar su plan de mantenimiento, porque probablemente con el procedimiento existente no se están logrando los cambios esperados.

Si se observan los demás subequipos, además de los dos primeros, que han salido críticos según el Análisis de Criticidad, vemos que la “Torre” y el “Stand” del equipo “Stand A6” son críticos, según Jack-Knife el “Stand A6” también es un equipo crítico, por lo tanto existe gran relación entre ambos métodos de análisis a la hora de jerarquizar que subequipo puede ser más crítico que otro, quizás no tengan el mismo orden pero de manera global concuerdan con el conjunto de subequipos críticos.

Definidos ya los dos subequipos más críticos del laminador, se procede a utilizar nuevas herramientas que otorga el software de mantenimiento.

4.4.3. Análisis Confiabilidad, Disponibilidad y MTTR

A continuación se presenta el análisis de confiabilidad, disponibilidad y MTTR de los dos subequipos más críticos del laminador, previamente definidos, otorgados por el software. El periodo ha analizar la confiabilidad y disponibilidad será de 6 meses a partir del 25 de noviembre del 2014, periodo requerido por jefe de mantenimiento.

4.4.3.1. Confiabilidad Subequipos Críticos

Analizando la confiabilidad para un periodo de 6 meses en el software de mantenimiento, de todos los subequipos del laminador, encontramos los siguientes subequipos que tienen las más bajas probabilidades de cumplir su función sin fallar en este periodo, es importante mencionar que la confiabilidad mecánica se designa como “Mec”, la eléctrica como “Ele”, la electrónica como “Elo”, y la confiabilidad de mantenimiento, considerando todas las disciplinas, como “Mant”:

Mecanismo Corte			
Mant	Mec	Ele	Elo
0,93%	1,07%	100,00%	69,76%

Conjunto Cizalla T4			
Mant	Mec	Ele	Elo
2,55%	14,48%	100,00%	22,90%

Cajones			
Mant	Mec	Ele	Elo
2,78%	3,29%	100,00%	68,83%

Rodillos			
Mant	Mec	Ele	Elo
3,78%	10,19%	25,68%	82,41%

Torre			
Mant	Mec	Ele	Elo
5,74%	5,74%	100,00%	100,00%

Ilustración 4.2: Los 5 subequipos menos confiables

Fuente: Software de Mantenimiento

Los subequipos anteriores representan en orden descendente los menos confiables de aquí a 6 meses. El “Mecanismo de Corte” se encuentra en primer lugar, existe

una probabilidad de un 0,93% que este subequipo no falle por algún problema mecánico, eléctrico o electrónico, si hacemos un énfasis, cuál es la disciplina menos confiable, sobresale la mecánica con un 1,07%, por lo tanto es muy probable que este subequipo falle en los próximos 6 meses, y si lo hace probablemente sea una falla mecánica.

Los “Cajones” se encuentran en tercer lugar, la probabilidad de que cumplan su función sin tener alguna falla mecánica, eléctrica o electrónica es de un 2,78%, sobresaliendo la mecánica con un 3,29%, es decir, este subequipo muy probablemente fallará y si lo hace, probablemente será por un inconveniente mecánico.

Hay que destacar, que un subequipo poco confiable no necesariamente es un subequipo crítico, porque existe la posibilidad de que se pueda reparar muy rápidamente, no generando grandes inconvenientes para la planta de laminación, sin embargo coincide en un cien por ciento que los 5 subequipos menos confiables se encuentren dentro de los más críticos según el análisis de Jack-Knife y Análisis de Criticidad.

A continuación, en los gráficos 4.16 y 4.17, sacados del software de mantenimiento, se presentan las tendencias de confiabilidad, probabilidad de falla y número de fallas a lo largo de 6 meses para el “Mecanismo de Corte” y los “Cajones”, considerando todas sus disciplinas.

El periodo de funcionamiento (6 meses), se ha hecho en horas, equivalente a 4320 horas, y se han dividido en 20 partes iguales, para obtener 20 puntos distintos de análisis.

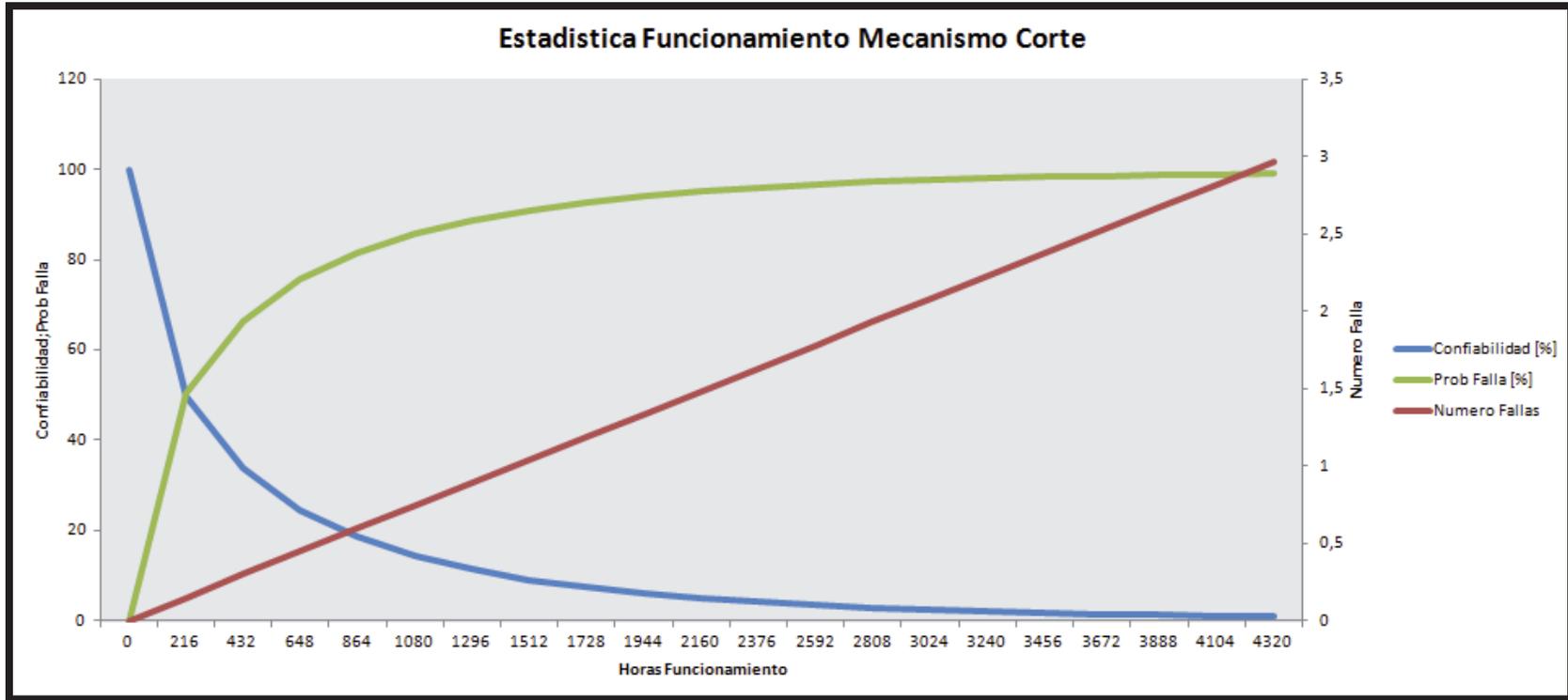


Gráfico 4.16: Confiabilidad, probabilidad de falla y numero de fallas del Mecanismo de Corte

Fuente: Software de Mantenimiento

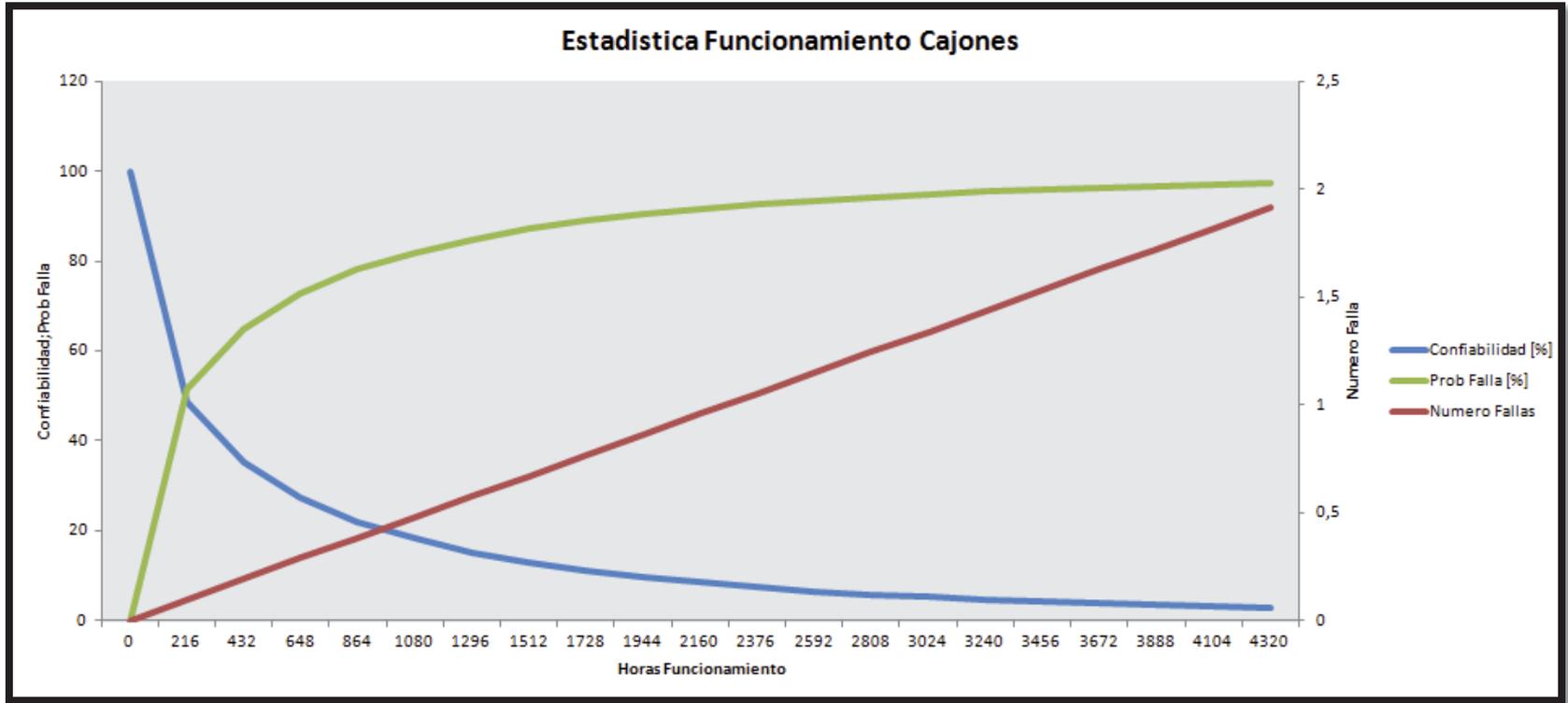


Gráfico 4.17: Confiabilidad, probabilidad de falla y numero de fallas de Cajones

Fuente: Software de Mantenimiento

Analizando los gráficos anteriores, en el caso del “Mecanismo de Corte”, se observa que después de las 800 horas de funcionamiento (1 mes aproximadamente), este subequipo tiene una probabilidad de falla superior al 80%, lo que nos indica que este subequipo es muy probable que falle antes en el mes siguiente, además conociendo la tasa de falla (λ), el gráfico nos señala que al cabo de 6 meses se espera que el subequipo falle al menos 3 veces. En el caso que este subequipo requiera un mantenimiento preventivo y/o correctivo se espera que se haga al menos una vez a la semana para evitar que este falle.

En el caso de los “Cajones”, se aprecia que después de las 1000 horas (1 mes y medio aproximadamente) la confiabilidad decae por debajo del 20%, y por lo tanto la probabilidad que de falle es sobre el 80%, señalando además que al cabo de 6 meses el equipo podría fallar al menos 2 veces. Para evitar fallas se espera que en el caso de necesitar un mantenimiento preventivo y/o predictivo este se haga al menos una vez por semana.

Como se indicó a través de los distintos análisis, la disciplina más crítica del Mecanismo de Corte es la mecánica, al igual que para los “Cajones”, por lo tanto se muestran a continuación los *gráficos estadísticos 4.18 y 4.19* de la disciplina mecánica de estos dos subequipos.

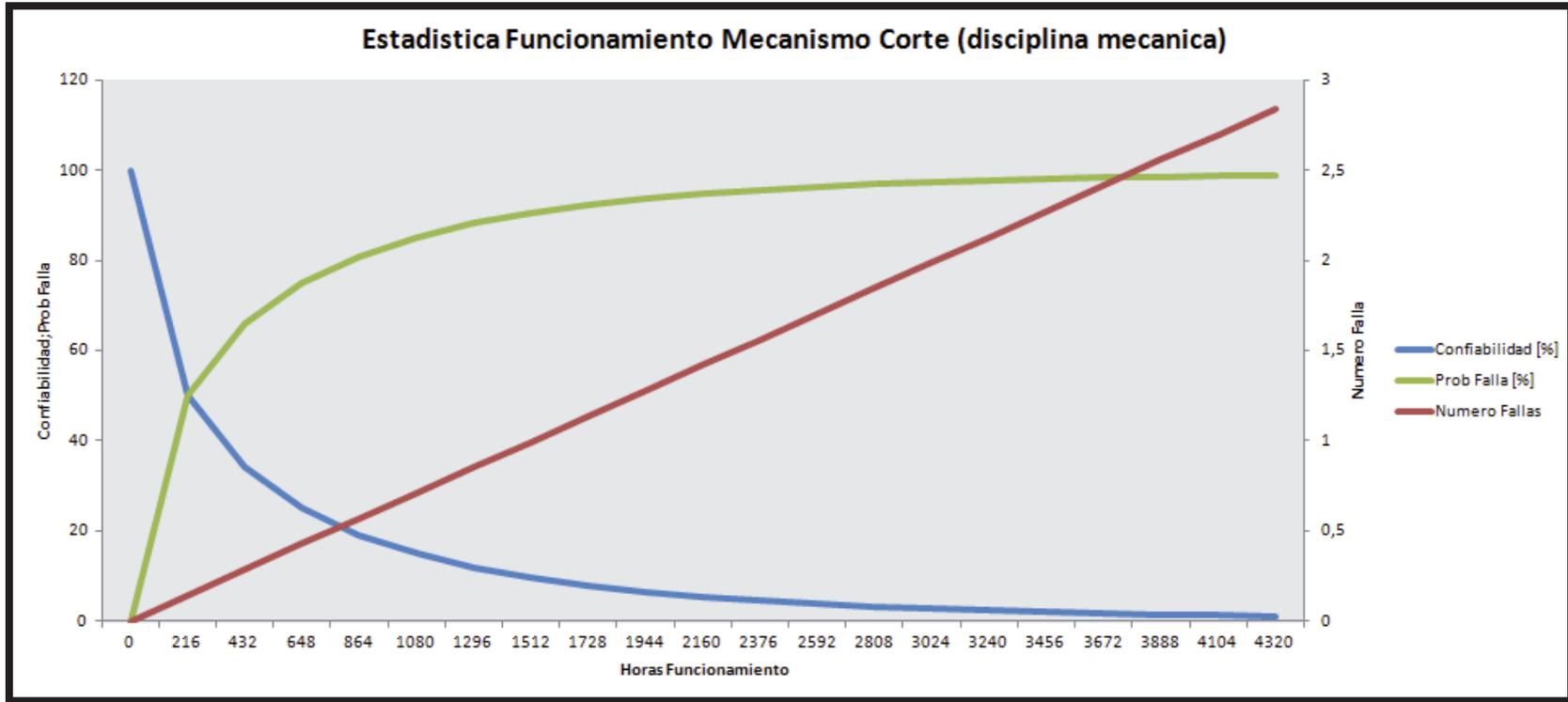


Gráfico 4.18: Confiabilidad, probabilidad de falla y número de fallas de Mecanismo Corte (disciplina mecánica)

Fuente: Software de Mantenimiento

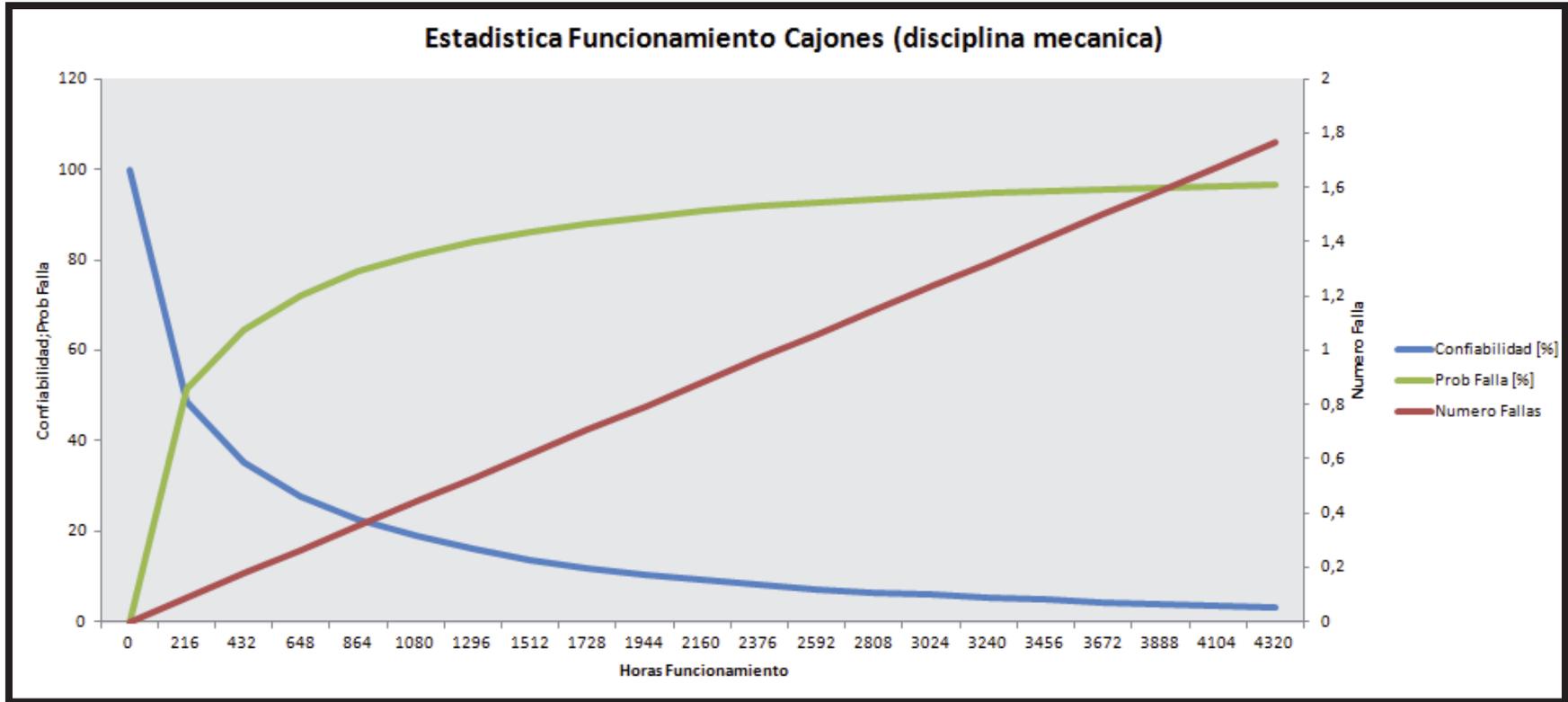


Gráfico 4.19: Confiabilidad, probabilidad de falla y número de fallas de Cajones (disciplina mecánica)

Fuente: Software de Mantenimiento

Del *gráfico 4.18* se desprende que después de las 800 horas existe una probabilidad de falla mecánica del Mecanismo de Corte sobre un 80%, y que para un periodo de 6 meses, este subequipo podrá fallar casi 3 veces, lo que indica la importancia de las fallas mecánicas, ya que es casi la misma cantidad de fallas que podría tener este equipo considerando todas las disciplinas, corroborando de esta manera la criticidad mecánica por sobre la eléctrica y electrónica, que nos arrojó Jack-Knife para este subequipo. De existir un mantenimiento preventivo y/o predictivo, este debe enfocarse en el mantenimiento mecánico.

Del *gráfico 4.19* se desglosa que posterior a las próximas 1000 horas hay una gran probabilidad, sobre el 80%, que se origine una falla mecánica sobre los Cajones, y que en los próximos 6 meses este subequipo falle cerca de 2 veces, nuevamente este análisis muestra la importancia de las fallas mecánicas para este subequipo sobre las otras dos disciplinas, comprobando también lo definido previamente por Jack-Knife. De tener un mantenimiento preventivo y/o predictivo este debe ser en gran medida mecánico

Analizada la confiabilidad de estos dos subequipos críticos, se procede a analizar la disponibilidad.

4.4.3.2. Disponibilidad Subequipos Críticos

Antes de comenzar a analizar la disponibilidad, se deben aclarar algunos conceptos importantes de la disponibilidad en este laminador.

El laminador de perfiles se encuentra en funcionamiento en función de la demanda de perfiles de acero que existe en el mercado, como la demanda en un mes bueno es entre 8.000 y 10.000 toneladas, genera que el laminador se mantenga activo y funcionando la mayor parte del año, solo deteniéndose algunas semanas al año para mantenimiento y también por restricción eléctrica. Todo esto se ve reflejado en los

indicadores de disponibilidad de los subequipos del laminador, ya que subequipos que tienen varias interrupciones y altos tiempos de reparación, poseen un muy alto porcentaje de disponibilidad. Esto se debe en gran medida a que los tiempos que han estado detenidos estos subequipos son insignificantes frente a todo el tiempo que han estado disponibles para funcionar, es por esta razón que se verán a todos los subequipos del laminador con disponibilidad mayor a un 99%.

En la *ilustración 4.3* se observan los 5 subequipos menos disponibles que posee el laminador, a pesar de tener todos disponibilidades mayores a 99%, una variación decimal puede involucrar pérdidas monetarias para Gerdau, sobre todo en meses de alta demanda productiva, donde 30 minutos detenidos pueden ser importantes.

Torre			
Mant	Mec	Ele	Elo
99,89%	99,89%	100,00%	100,00%

Cajones			
Mant	Mec	Ele	Elo
99,91%	99,91%	100,00%	100,00%

Mecanismo Corte			
Mant	Mec	Ele	Elo
99,92%	99,92%	100,00%	100,00%

Peines			
Mant	Mec	Ele	Elo
99,95%	99,95%	100,00%	100,00%

Rodillos			
Mant	Mec	Ele	Elo
99,96%	99,97%	99,99%	100,00%

Ilustración 4.3: Los 5 subequipos menos disponibles

Fuente: Software de Mantenimiento

Dentro de los 5 subequipos menos disponibles que tiene el laminador, aparece en segundo lugar los “Cajones” y en tercer lugar el “Mecanismo de Corte”, lo que corrobora la alta criticidad que tienen ambos subequipos, sobre todo las fallas mecánicas.

4.4.3.3. Tiempo Medio Reparación Subequipos Críticos

Vemos en la *ilustración 4.4* los 3 mayores MTTR, en cantidad de horas, de todos los subequipos del laminador y el MTTR de los dos subequipos más críticos, Los tres mayores tiempos medios de reparación se encuentran cerca de las 2 horas, a diferencia de los dos más críticos que se encuentran cerca de la barrera de la media hora. Si analizáramos la criticidad solo en función del tiempo medio de reparación, los Cardanes del Stand A6, la Torre del Stand A1 y el Reductor del Stand A5, serian claramente los más críticos, sin embargo la definición de criticidad involucra varios criterios, y la suma de ellos hacen del Mecanismo de Corte y los Cajones los más críticos, aunque hay que mencionar que los otros tres subequipos se encuentran dentro de los más críticos según los análisis previos que se hicieron.

A pesar que los 26 minutos del “Mecanismo de Corte” y los 39 minutos de los “Cajones” son bastante lejanos a los más altos MTTR, son tiempos significativos, sobre todo considerando que estos dos subequipos son los que fallan más veces en un año, por lo tanto su MTTR es también un parámetro a mejorar.

Cardanes			
Mant	Mec	Ele	Elo
2,443	2,443	0,000	0,000

Torre			
Mant	Mec	Ele	Elo
2,152	2,152	0,000	0,000

Reductor			
Mant	Mec	Ele	Elo
1,967	1,967	0,000	0,000

Mecanismo Corte			
Mant	Mec	Ele	Elo
0,434	0,431	0,000	0,362

Cajones			
Mant	Mec	Ele	Elo
0,650	0,678	0,000	0,211

Ilustración 4.4: 3 mayores MTTR y MTTR de subequipos críticos

Fuente: Software de Mantenimiento

4.4.4. Análisis de Modos y Efectos de Fallas Subequipos Críticos

Este análisis se hará a los subequipos “Mecanismo de Corte” y “Cajones”, y permitirá identificar las fallas potenciales de los componentes de estos subequipos antes que ocurran, facilitando el diseño de un plan de mantenimiento preventivo.

En primer lugar se procederá a definir cada subequipo y sus componentes, para luego estudiar las fallas funcionales, los modos de falla y los efectos de estas fallas.

Todos los datos obtenidos para este análisis se adquirieron del software utilizado por la empresa llamado “Nivel 2”, donde puede rescatar el hecho, la causa y la acción de todas las interrupciones que ha sufrido el laminador.

4.4.4.1. Descripción Subequipo Crítico Mecanismo de Corte

Gerdau tiene dos plantas de fabricación en Santiago, la planta de laminación ubicada en Colina tiene un horno de inducción donde se funde la chatarra y se obtiene unas palanquillas de acero de distintas composiciones, y ciertas propiedades mecánicas, según lo que requiera el cliente. Estas palanquillas llegan a la planta de Renca donde se introducen al Horno para comenzar su precalentamiento antes de pasar al proceso de laminación, posterior al horno esta palanquilla pasa por una serie de procesos de laminación, donde distintos rodillos laminadores van dándole la forma final a la palanquilla, que pueden ser perfiles, alambrones, barras etc.

Una vez que la palanquilla ha sido laminada por completo, sigue el proceso de enfriamiento, proceso que se realiza en una parrilla de enfriamiento. Los perfiles que llegan a esta parrilla deben tener un largo de 12 metros, para esto, existe justo antes una cizalladora, llamada Cizalla T3, que dentro de todos sus subequipos tiene el Mecanismo de Corte, cuya función específica es cortar la punta y la cola del perfil con el fin de dejarlo en un largo de 12 metros.

Los componentes del Mecanismo de Corte son:

- Muela: son piezas fundidas de acero que sostienen a los cuchillos, las muelas tienen un movimiento rotativo que permiten el corte de productos livianos, rápidos y pequeños, sin embargo para productos grandes tienen un movimiento articulado. El movimiento simétrico de las muelas permiten que los cuchillos se junten y hagan el corte.

- Configuración de corte: Cuando los cuchillos se juntan lo pueden hacer a distintas velocidades, dependerá del tipo de producto que se desea cortar, esta velocidad se regula con la configuración de corte.
- Cuchillos: Piezas de acero especiales de distintas configuraciones, la forma de estos cuchillos dependerá de la forma del perfil a cortar, por ejemplo, para cortar un ángulo los filos de los cuchillos tienen forma triangular, en cambio para cortar una barra los filos de los cuchillos tienen forma plana.
- Brazos: Piezas articuladas que se conectan a las muelas cuando estas tienen que hacer un movimiento rotativo y permitir cortes de productos livianos, rápidos y pequeños.
- Sensor posición: Cuando las muelas experimentan movimiento rotativo, están conectadas a un eje que rotan a la misma velocidad que las muelas, estos ejes tienen conectado un sensor posición o encoder que envía la señal al pulpito de control (sala informática donde se tiene todo el control del proceso) con la velocidad de rotación.



Ilustración 4.5: Mecanismo de Corte

Fuente: Gerdau S.A

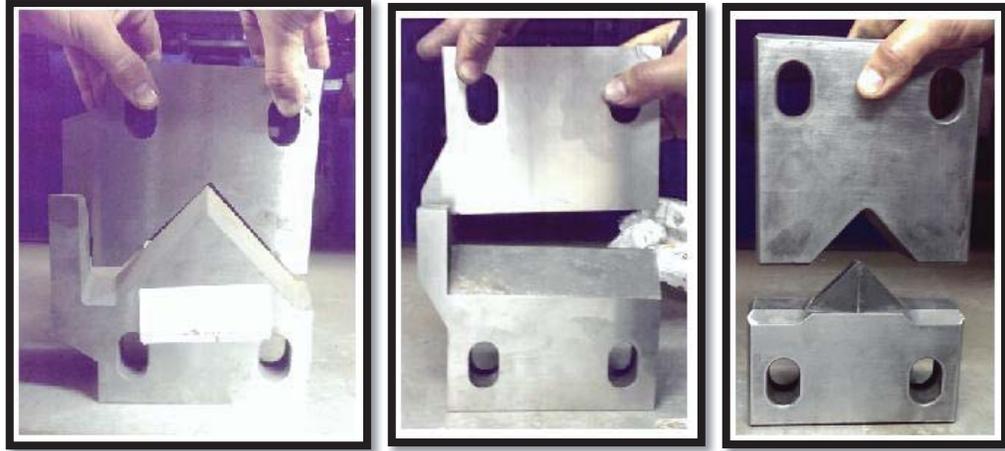


Ilustración 4.6: Cuchillos Mecanismo de Corte

Fuente: Gerdau S.A

4.4.4.2. Descripción Subequipo Crítico Cajones

Los Cajones son subequipos pertenecientes a la zona Parrilla de Enfriamiento, por lo tanto, como se describió en el tema anterior, una vez que la palanquilla ha sido laminada y llega con un largo de 12 metros a la Parrilla, procede a enfriarse por convección natural. Los tiempos que los perfiles permanecen en la Parrilla enfriándose están previamente establecidos, por lo tanto existen unos mecanismos en la Parrilla que trasladan lateralmente los perfiles desde su ingreso hasta el lugar donde son retirados para su posterior corte. Estos mecanismos son los llamados Cajones, cuya función es alzar los perfiles a través de una barra y permitir que estos deslicen, por medio de una inclinación, hasta su nueva posición.

Los componentes de los Cajones son los siguientes:

- Cajones: piezas fundidas de acero, que tienen una cierta inclinación en la superficie permitiendo que el perfil deslice cuando los cajones lo levantan.
- Barra alza cajones: barra donde se montan los cajones, conectada a un cilindro hidráulico, cuando el pistón del cilindro hidráulico se expande, arrastra

la barra alza cajones, levantado los cajones y permitiendo del desplazamiento de los perfiles a otra línea.

- Polines de apoyo: la conexión entre los cajones y la barra alza cajones se hace mediante los polines de apoyo que son argollas de acero soldadas a los cajones por donde pasa un perno que hace de unión entre ambos componentes.
- Pasador: la unión entre el cilindro hidráulico y la barra alza cajones se hace por medio de dos pasadores, sometido a corte doble.

Es importante mencionar que la empresa Gerdau decidió nombrar al equipo en su conjunto como “Cajones”, sin embargo existe dentro de este equipo un subequipo denominado de la misma manera “Cajones” y dentro de este subequipo existe un componente que vendrían siendo los “Cajones” propiamente tal, asignado con el mismo nombre.



Ilustración 4.7: Cajones

Fuente: Gerdau S.A



Ilustración 4.8: Cilindro Hidráulico Cajones

Fuente: Gerdau S.A

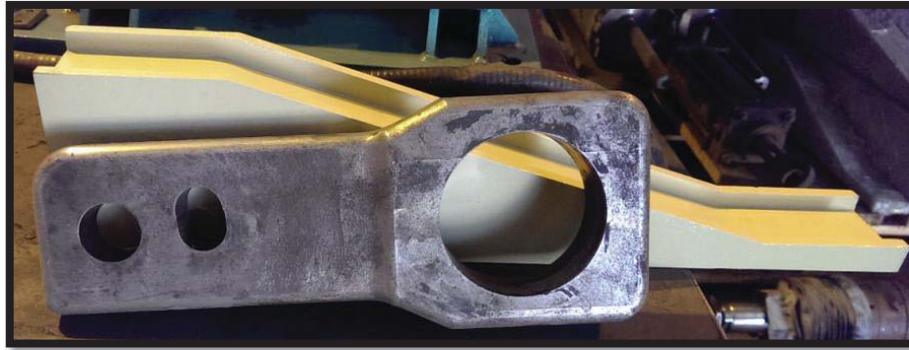


Ilustración 4.9: Soporte Pasador Cajones

Fuente: Gerdau S.A

4.4.4.3. Análisis Criticidad Componentes Subequipos

Se presenta el análisis de criticidad de los componentes del Mecanismo de Corte y de los Cajones, el criterio de análisis es el mismo que se aplicó a todos los subequipos del laminador

4.4.4.3.1. Análisis Criticidad Componentes Mecanismo de Corte

Subequipos	FRECUENCIA (Fallas/año)	TIEMPO DETENCION	COSTO REPARACION	IMPACTO SEGURIDAD	IMPACTO AMBIENTAL	Factor Exponencial	Consecuencia	Valor final
Cuchillos	6	4	1	1	1	2	19	114
Muela	2	5	3	1	1	2	36	72
Brazos	2	3	5	1	1	2	36	72
Sensor Posicion	1	5	1	1	1	2	28	28
Configuracion de Corte	1	4	1	1	1	2	19	19

Tabla 4.14: Criticidad Componentes Mecanismo de Corte

Fuente: Programa Mantenimiento

Como podemos apreciar en la *tabla 4.14*, el componente más crítico del Mecanismo de Corte son los Cuchillos, seguidos de las Muelas y Brazos.

4.4.4.3.2. Análisis Criticidad Componentes Cajones

Subequipos	FRECUENCIA (Fallas/año)	TIEMPO DETENCION	COSTO REPARACION	IMPACTO SEGURIDAD	IMPACTO AMBIENTAL	Factor Exponencial	Consecuencia	Valor final
Cajones	6	5	2	1	1	2	31	186
Barra alza cajones	1	4	2	1	1	2	22	22
Pasador	1	4	1	1	1	2	19	19
Polines de apoyo	1	1	1	1	1	2	4	4

Tabla 4.15: Criticidad Componentes Cajones

Fuente: Programa Mantenimiento

En la *tabla 4.15* se observa que el componente más crítico de los Cajones son los Cajones propiamente tal, seguido de la Barra Alza Cajones y el Pasador.

4.4.4.4. Análisis Pareto a Componentes de Subequipos Críticos

El diagrama de Pareto es una herramienta de análisis que ayuda a tomar decisiones en función de prioridades, el diagrama se basa en el principio enunciado por Vilfredo Pareto que dice:

"El 80% de los problemas se pueden solucionar, si se eliminan el 20% de las causas que los originan".

En otras palabras; un 20% de los errores vitales, causan el 80% de los problemas, o lo que es lo mismo; en el origen de un problema, siempre se encuentran un 20% de causas vitales y un 80% de triviales.

4.4.4.4.1. Análisis Pareto a Componentes de Mecanismo de Corte

Mecanismo de Corte	Criticidad	Criticidad Acumulada	% de Total	% Acumulado total
Cuchillos	114	114	37,4	37,4
Brazos	72	186	23,6	61,0
Muela	72	258	23,6	84,6
Sensor Posicion	28	286	9,2	93,8
Configuracion de Corte	19	305	6,2	100,0

Tabla 4.16: Tabla Pareto Componentes Mecanismo de Corte

Fuente: Programa Mantenimiento

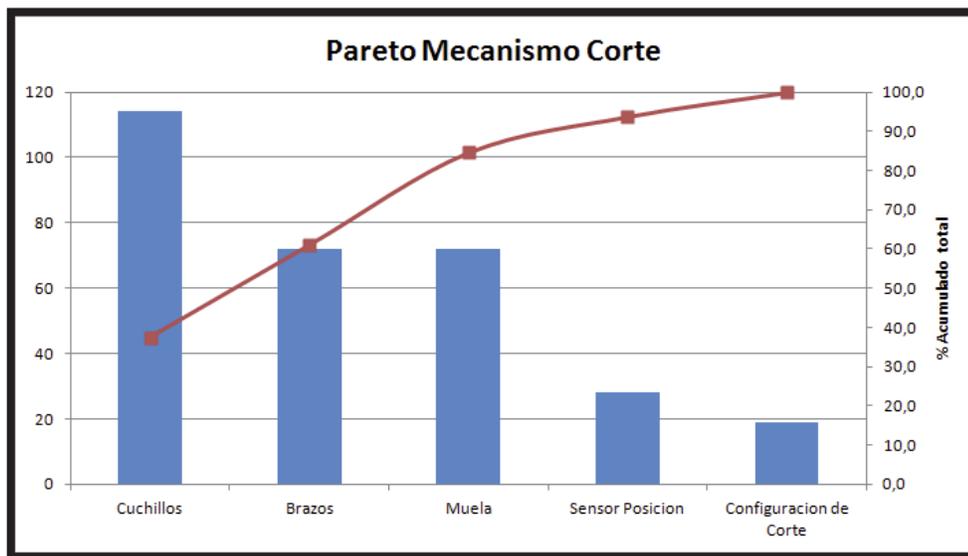


Gráfico 4.20: Grafico Pareto Mecanismo de Corte

Fuente: Programa Mantenimiento

Del *gráfico 4.20* podemos concluir que 3 de los 5 componentes del Mecanismo de Corte son los que concentran la mayor criticidad. En otras palabras el 80% de la criticidad del Mecanismo de Corte es causado por los componentes Cuchillos, Brazos y Muela.

El análisis de modos y efectos de fallas se harán de manera separada para estos 3 componentes, ya que como vimos anteriormente son los causantes de la alta

criticidad de este subequipo, mejorando el plan de mantenimiento de estos componentes podremos reducir la criticidad de este subequipo.

4.4.4.4.2. Análisis Pareto a Componentes de Cajones

Cajones	Criticidad	Criticidad Acumulada	% de Total	% Acumulado total
Cajones	186	186	80,5	80,5
Barra alza cajones	22	208	9,5	90,0
Pasador	19	227	8,2	98,3
Polines de apoyo	4	231	1,7	100,0

Tabla 4.17: Tabla Pareto Componentes Cajones

Fuente: Programa Mantenimiento

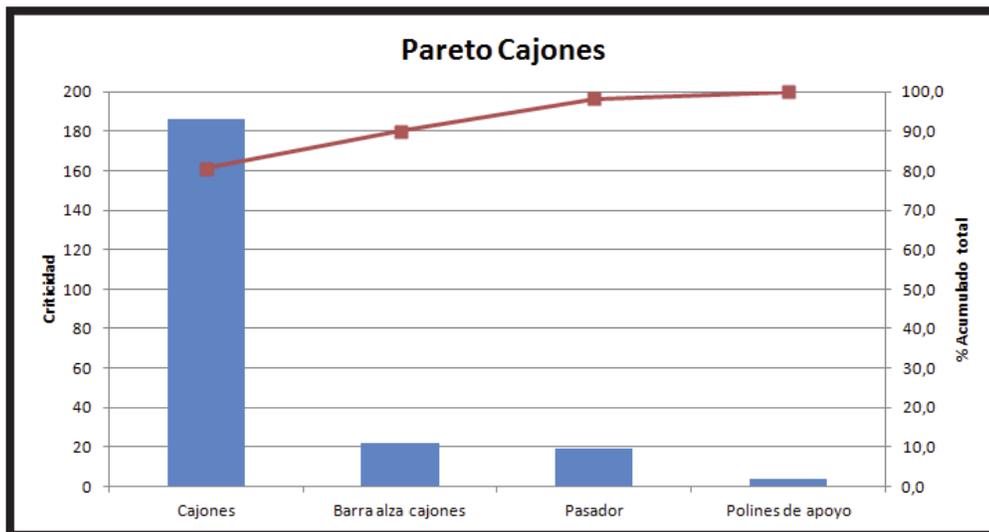


Gráfico 4.21: Grafico Pareto Cajones

Fuente: Programa Mantenimiento

Del gráfico 4.21 se resume que 1 componente de los 4 que tienen los Cajones es el causante de la alta criticidad de este subequipo, el 80% de la criticidad obtenida por

este subequipo es causado por los Cajones propiamente tal, por lo tanto se hará el análisis de modos y efectos de falla solo para este componente.

4.4.4.5. Fallas Funcionales, Modos y Efectos de Fallas de Componentes Críticos

Habiendo estudiado el funcionamiento de los subequipos críticos y cada uno de sus componentes, se procede a analizar los distintos fallos que han tenido estos componentes desde el 01 de enero del 2010 con el fin de realizar un estudio en profundidad de las fallas funcionales, los modos y efectos de fallas.

El plan de mantenimiento que se llevará a cabo estará enfocado en los componentes críticos, sin embargo no se dejaran de lado los demás componentes.

En el [Anexo 7](#) se muestran los planos de los componentes críticos.

4.4.4.5.1. Análisis Modo y Efectos de Fallas Componentes Críticos de Mecanismo Corte

MODOS Y EFECTOS DE FALLAS COMPONENTES MECANISMO DE CORTE			
GERDAU S.A		COMPONENTE: CUCHILLOS	
		HOJA: 1 DE 1	
Funcion	Falla Funcional	Modo de Falla	Efecto de Falla
Producir un corte en la punta y cola de las barras laminadas	Incapaz de realizar un corte o genera un corte no preciso	1. Cuchillos malos . 2. Cuchillos desajustados . 3. Cuchillos quebrados . 4. Cuchillos en mal estado . 5. Se cae laina de cuchillos	Corte con defectos . Material con cortes con defectos . Barras con marcas en corte . Cortes con defectos . Se detiene proceso

Tabla 4.18: Modos y Efectos de Fallas Cuchillos

Fuente: Gerdau S.A

MODOS Y EFECTOS DE FALLAS COMPONENTES MECANISMO DE CORTE			
GERDAU S.A		COMPONENTE: BRAZOS	
		HOJA: 1 DE 1	
Funcion	Falla Funcional	Modo de Falla	Efecto de Falla
Perrmitir movimiento articulado de las muelas con el fin de que los cuchillos realicen cortes de barras y perfiles grandes.	Brazos giran desincronizadamente o no generan movimiento de las muelas	1. Se sueltan pernos de brazos . 2. Brazo muela inferior con juego . 3. Mordaza de brazon inferior se suelta . 4. Se corta perno de brazo .	Corte con defectos . Material con cortes con defectos . Ruido extra al cortar barra . . No se realiza el corte de la barra .

Tabla 4.19: Modos y Efectos de Fallas Brazos

Fuente: Gerdau S.A

MODOS Y EFECTOS DE FALLAS COMPONENTES MECANISMO DE CORTE			
GERDAU S.A		COMPONENTE: MUELAS	
		HOJA: 1 DE 1	
Funcion	Falla Funcional	Modo de Falla	Efecto de Falla
Fijar los cuchillos y permitir el cierre y apertura de estos para realizar el corte sobre las barras laminadas.	Incapaz de realizar un cierre completamente paralelo entre los filos de los cuchillos.	1. Hilo rodado de muela . 2. Muela con juego axial . 3. Muela inferior con juego .	Se suelta mordaza de muela . No genera el corte en la barra . Corte con defectos .

Tabla 4.20: Modos y Efectos de Fallas Muelas

Fuente: Gerdau S.A

4.4.4.5.2. Análisis Modo y Efectos de Fallas Componentes Críticos de Cajones

MODOS Y EFECTOS DE FALLAS COMPONENTES CAJONES			
GERDAU S.A		COMPONENTE: CAJONES	
		HOJA: 1 DE 1	
Funcion	Falla Funcional	Modo de Falla	Efecto de Falla
Alzar las barras laminadas en la parrilla de enfriamiento y deslizarlas a la posicion continua.	Incapaz de levantar las barras completamente o directamente no levantan las barras laminadas.	1. Cajon con desgaste . 2. Cajones desalineados . . 3. Cajon movil se apreta contra respaldo . 4. Respaldo cajones separados . 5. Punta de barra choca contra cajones .	Barras con marcas superficiales . Cola de barra queda dentro de los cajones . Cajon frenado pierde velocidad por lo cual barras pasan a medialuna . Punta de barra choca contra cajones . Cola de barra queda dentro de los cajones

Tabla 4.21: Modos y Efectos de Fallas Cajones

Fuente: Gerdau S.A

CAPITULO V

5. POLITICA DE MANTENIMIENTO Y PLAN DE MANTENCIÓN PARA GERDAU LAMINADOR RENCA

5.1. Política Mantenimiento Subequipos del Laminador

Como he mencionado con anterioridad, existen 434 subequipos en el laminador de Renca, no todos pueden tener un mantenimiento preventivo y/o predictivo, ya que un mantenimiento de este tipo involucra una inversión en tiempo, dinero y mano de obra, que puede aumentar innecesariamente los costos de mantenimiento. Para priorizar los mantenimientos, a través del análisis de criticidad, corroborado con los gráficos Jack-Knife, se determinó que los subequipos críticos y semi críticos deben tener un mantenimiento preventivo y/o predictivo, la frecuencia de mantenimiento se ha determinado en función de la confiabilidad, probabilidad de falla y numero de fallas esperadas para cada subequipo entregadas por el software, en conjunto con el criterio del jefe de mantenimiento y su equipo de trabajo. Además estos subequipos pueden necesitar o no repuestos críticos, estos son componentes que no son reparables en un subequipo, también pueden requerir mantenimientos correctivos planificados o no planificados, un mantenimiento correctivo no planificado es un mantenimiento que se lleva cabo cuando falla el subequipo y se puede reparar en el instante en que el subequipo ha fallado, en cambio un mantenimiento correctivo planificado se debe esperar para reparar hasta que el laminador este detenido, sin embargo se puede seguir laminando mientras se espera por su reparación. Los subequipos no críticos tendrán solo un mantenimiento correctivo planificado o no planificado y repuestos críticos, ya que generar un mantenimiento preventivo y/o predictivo solo elevara los costos de mantenimiento.

A continuación, en la tabla 5.1, se muestra la política de mantenimiento de los primeros diez subequipos más críticos del laminador, donde se destaca que el mecanismo de corte debe tener un mantenimiento preventivo semanal para aquellos

componentes críticos previamente analizados y así evitar futuras interrupciones, y un mantenimiento correctivo planificado para aquellos componentes menos críticos y que se puedan reparar cuando el laminador se encuentre detenido. En segundo lugar aparecen los cajones, que deben tener un mantenimiento preventivo semanal para evitar posibles interrupciones con aquellos componentes críticos, deben tener también un mantenimiento correctivo planificado para aquellos componentes menos críticos, además los cajones debiesen tener repuestos críticos para aquellos componentes no reparables, como lo son los cajones y el pasador.

El análisis anterior se hizo con todos los subequipos del laminador, en el [Anexo 8](#) se muestra la política de mantenimiento completa, destacando los tipos de mantenimiento que debe tener cada subequipo del laminador.

Política Mantenimiento Laminación Renca																	
Equipo	Subequipo	Correctiva r planificada	Correctiv planificada	Preventiva					Predictiva					Repuest Crítico	Indice Críticidad	Críticida	
				A	ST	T	M	SM	A	ST	T	M	SM				
Cizalla T3	Mecanismo de corte		x						x							258	Crítica
Cajones	Cajones		x						x					x		186	Crítica
Stand A6	Torre		x						x					x		156	Crítica
Stand A6	Stand		x						x							156	Crítica
Mesa Fija	Rodillos		x						x							129	Crítica
Carro Transferidor	Mecanismo de levante		x						x					x		129	Crítica
Transferidor de barras	Cadenas	x							x					x		108	Crítica
Mesa Fija	Impulsorador 7mo Pase		x				x							x		104	Crítica
Sistema Motriz	Motor						x				x					104	Crítica
Sistema Motriz	Acoplamiento motor/reductor	x					x							x		104	Crítica

Tabla 5.1: Política de Mantenimiento diez subequipos más críticos

Fuente: Programa de Mantenimiento

Para el área de mantenimiento del laminador Renca, es sumamente importante controlar la interrupciones que sufre el laminador, la razón de esto se debe, entre otras cosas, que existen indicadores de evaluación que se hace al área de mantenimiento, este establece el tiempo máximo que puede estar el laminador detenido mensualmente y anualmente, y las barras máximas que se pueden perder por una interrupción por mal mantenimiento, si se cumple con las metas, todo el staff de mantenimiento recibirá un bono monetario, sin embargo se debe conservar una confiabilidad óptima sin generar grandes inversiones y así mantener los costos bajos.

5.2. Plan de Mantenimiento para Subequipos Críticos del Laminador

Se ha utilizado una gran cantidad de herramientas que ofrece la teoría de mantenimiento, herramientas que permitieron determinar los subequipos más críticos del laminador y a partir de ellos generar un extenso análisis.

Se determinó los subequipos críticos según Jack-Knife y conjuntamente se estipularon los subequipos críticos según el Análisis de Criticidad, concluyendo que ambos medios de análisis coinciden y engloban en gran medida el conjunto de subequipos críticos, semi críticos y no críticos. De esta manera, se determinó que el “Mecanismo de Corte” es el subequipo más crítico del laminador, seguido de los “Cajones”. Con estos dos subequipos se procedió a analizar la estadística que arrojó el software para los próximos 6 meses, determinando sus confiabilidades, disponibilidades, tiempos medios de reparación y las tasas de falla. Por último se ha hecho un Análisis de Criticidad para los componentes de los dos subequipos más críticos, y se ha determinado cuál de ellos son los más críticos a través de un análisis Pareto.

Lo que sigue es un Plan de Mantenimiento para aquellos subequipos críticos con el objetivo de reducir las paradas imprevistas, disminuir los costos de mantenimiento y permitir que el personal de mantenimiento tenga un mejor control y manejo de estos componentes.

El Plan de Mantenimiento será de carácter preventivo, donde se programarán tareas que involucren mantención, cambio de componentes, inspecciones visuales, etc. El plan de mantención llevado a cabo será solo mecánico, ya que la criticidad de estos dos subequipos se origina por interrupciones mecánicas, las interrupciones eléctricas y/o electrónicas no hacen que estos dos subequipos tengan la calidad de críticos.

	Orden: 31348526	Clase de Orden: Preventiva	Ubic.Técnica: 1110-LA1-PAR1	Subequipo: Mecanismo de Corte
	Descrip. Orden: PLAN PREVENTIVO MECANISMO DE CORTE		Desc Ubic Técnica: TREN ACABADOR	Pag: 1/1
	Fecha Entrada: 18.12.2015	Fecha Fin: 18.12.2015	Responsable: Ivan Cares	Status Sist: LIB.DMNV MOVN NLIQ.PREC
	Psto Tbjto: LA1-MC	Gpo Plan: ZLA-Plan Mt Laminador	Clase Activid: 108 - Inspeccion con preparacion	Status Usu: 03rp - Liberado para Planificacion
	Prioridad: Alta	Revision:	Duracion:	Especialidad:
	Nivel:			

Oper	PT	Texto Operación	Estado Subequipo	Frecuencia
240	LA1-MC	Verificar ajuste cuchillos	Detenido	Diaria
		Revisar fisuras cuchillos	Detenido	Diaria
		Revisar laines de cuchillos	Detenido	Diaria
		Revisar apriete pernos de brazos	Detenido	Diaria
		Revisar juego brazo inferior y superior	Detenido	Semanal
		Verificar juego de mordazas	Detenido	Diaria
		Revisar desgaste perno brazo	Detenido	Semanal
		Revisar hilo de muela	Detenido	Semanal
		Revisar juego muela inferior y superior	Detenido	Semanal

Tabla 5.2: Plan de Mantenimiento Mecanismo de Corte

Fuente: Programa de Mantenimiento

Las operaciones antes mencionadas deben ser realizadas por el mismo operador, caso contrario el jefe de mantenimiento debe asignar al operador reemplazante. La verificación y revisión son a criterio del operador a cargo, para las operaciones asignadas el operador no necesita ningún tipo de maquinaria especial, solo herramientas para realizar los ajustes necesarios.



Orden: 31501420	Clase de Orden: Preventiva	Ubic.Técnica: 1110-LA1-PAR1	Subequipo: Cajones
Descrip. Orden: PLAN PREVENTIVO CAJONES		Desc Ubic Técnica: PARRILLA DE ENFRIAMIENTO	Pag: 1/1
Fecha Entrada: 18.12.2015	Fecha Fin: 18.12.2015	Responsable: Rodrigo Saurines	Status Sist: LIB.KKMP NLIQ PREC
Psto Tbjo: LA1-MC	Gpo Plan: ZLA-Plan Mt Laminador	Clase Activid: 108 - Inspeccion con preparacion	Status Usu: 03rp - Liberado para Planificacion
Prioridad: Alta	Revision:	Duracion:	Especialidad:
Nivel:			

Oper	PT	Texto Operación	Estado Subequipo	Frecuencia
110	LA1-MC	Revisar desgaste de cajones	Detenido	Semanal
		Verificar alineamiento de cajones	Detenido	Semanal
		Verificar posicion cajones contra el respaldo	Detenido	Semanal
		Verificar posicion de respaldo de cajones	Detenido	Semanal
		Verificar inclinacion de los cajones	Detenido	Semanal
		Revisar desgaste de horquilla de sensor	Detenido	Semanal
		Revisar fisuras en espinas de pescado	Detenido	Semanal
		Revisar soldadura de polines	Detenido	Semanal
		Revisar desgaste de pasador	Detenido	Semanal
		Revisar apriete pernos polines	Detenido	Semanal
		Ajustar cajones	Detenido	Semanal
		Ajustar respaldos	Detenido	Semanal
		Ajustar laines de cajones	Detenido	Semanal
		Cambiar pasador	Detenido	Anual

Tabla 5.3: Plan de Mantenimiento Preventivo Cajones

Fuente: Programa de Mantenimiento

Las operaciones antes mencionadas deben ser realizadas por el mismo operador, caso contrario el jefe de mantenimiento debe asignar al operador reemplazante. La verificación y revisión son a criterio del operador a cargo, para las operaciones asignadas el operador no necesita ningún tipo de maquinaria especial, solo herramientas para realizar los ajustes y cambios necesarios. El cambio del pasador corresponde hacerlo anualmente por que es un pasador de sacrificio

CAPITULO VI

6. COMPROBACION DATOS ENTREGADOS POR SOFTWARE DE MANTENIMIENTO

En este capítulo se comprobará si los datos entregados por el software de mantenimiento diseñado se cumplieron. Para esto, como se señaló en los capítulos anteriores, este software se cargó y actualizó por última vez el 25 de noviembre del 2014, posteriormente, se han tomado los datos de todas las interrupciones del laminador desde el 25 de noviembre del 2014 al 25 de febrero del 2015, con el fin de corroborar si la proyección que arrojó el software se cumplió en los tres meses (2160 horas) posteriores a su última actualización.

Los datos que entrega el software de mantenimiento y que son posibles comprobar, son la confiabilidad, probabilidad de falla y cantidad de fallas esperadas. Como el laminador posee una gran cantidad de subequipos, solo se hará esta comprobación con los 10 subequipos más críticos, que posee el laminador.

A continuación se muestra la tabla 6.1, donde se aprecia las interrupciones ocurridas de los 10 subequipos más críticos del laminador desde el 25 de noviembre del 2014 al 25 de febrero del 2015, los subequipos que no aparecen es porque no poseen interrupciones hasta la fecha, sin embargo igualmente se analizarán.

Se hará una comprobación con los gráficos entregados por el software de estos diez subequipos, para verificar si la estadística cumple y si el programa es confiable.

Fecha inicio	Fecha término	Duración	Disciplina	Zona	Equipo	Subequipo
21/02/2015 00:07:17	21/02/2015 00:20:22	00 00:13:05	Mecanica	TREN ACABADOR	STAND A6	STAND
13/02/2015 00:51:33	13/02/2015 01:03:17	00 00:11:44	Electronica	EMPAQUETADO	TRANSFERIDOR DE BARRAS	CADENAS
04-02-2015 04:56:05	04-02-2015 05:23:36	00 00:27:31	Mecanica	TREN ACABADOR	CIZALLA T3	MECANISMO DE CORTE
23/01/2015 12:30:03	01-23-2015 13:06:07	00 00:36:04	Mecanica	PARRILLA DE ENFRIAMIENTO	CAJONES	CAJONES
23/01/2015 10:53:34	23/01/2015 11:17:37	00 00:24:03	Electronica	DESBASTE	SISTEMA MOTRIZ	MOTOR
19/01/2015 14:31:02	19/01/2015 14:43:04	00 00:12:02	Mecanica	PARRILLA DE ENFRIAMIENTO	CAJONES	CAJONES
19/01/2015 14:24:20	01-19-2015 15:42:56	00 01:18:36	Mecanica	PARRILLA DE ENFRIAMIENTO	CAJONES	CAJONES
19/01/2015 10:38:38	01-19-2015 12:06:37	00 01:27:59	Mecanica	PARRILLA DE ENFRIAMIENTO	CAJONES	CAJONES
24/12/2014 09:07:30	24/12/2014 09:32:26	00 00:24:56	Mecanica	TREN ACABADOR	CIZALLA T3	MECANISMO DE CORTE
17/12/2014 09:14:19	12-17-2014 10:10:31	00 00:56:12	Mecanica	PARRILLA DE ENFRIAMIENTO	CAJONES	CAJONES
16/12/2014 11:48:38	16/12/2014 12:17:03	00 00:28:25	Mecanica	DESBASTE	MESA FIJA	RODILLOS
11-12-2014 16:10:24	11-12-2014 16:18:18	00 00:07:54	Mecanica	DESBASTE	MESA FIJA	RODILLOS
02-12-2014 11:06:20	02-12-2014 11:43:17	00 00:36:57	Mecanica	PARRILLA DE ENFRIAMIENTO	CAJONES	CAJONES
26/11/2014 10:42:51	11-26-2014 11:54:35	00 01:11:44	Mecanica	DESBASTE	MESA FIJA	IMPULSIONADOR 7? PASE

Tabla 6.1: Interrupciones entre 25/11/2014 al 25/02/2015 Subequipos Críticos

Fuente: Nivel 2 Gerdau S.A

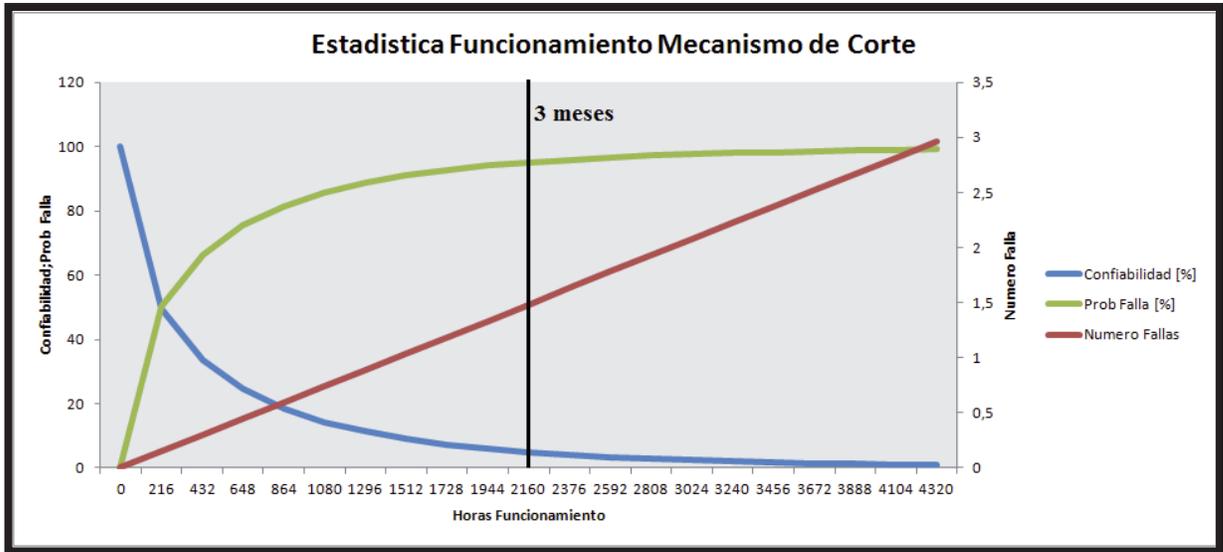


Gráfico 6.1: Estadística Funcionamiento Mecanismo de Corte

Fuente: Software de Mantenimiento

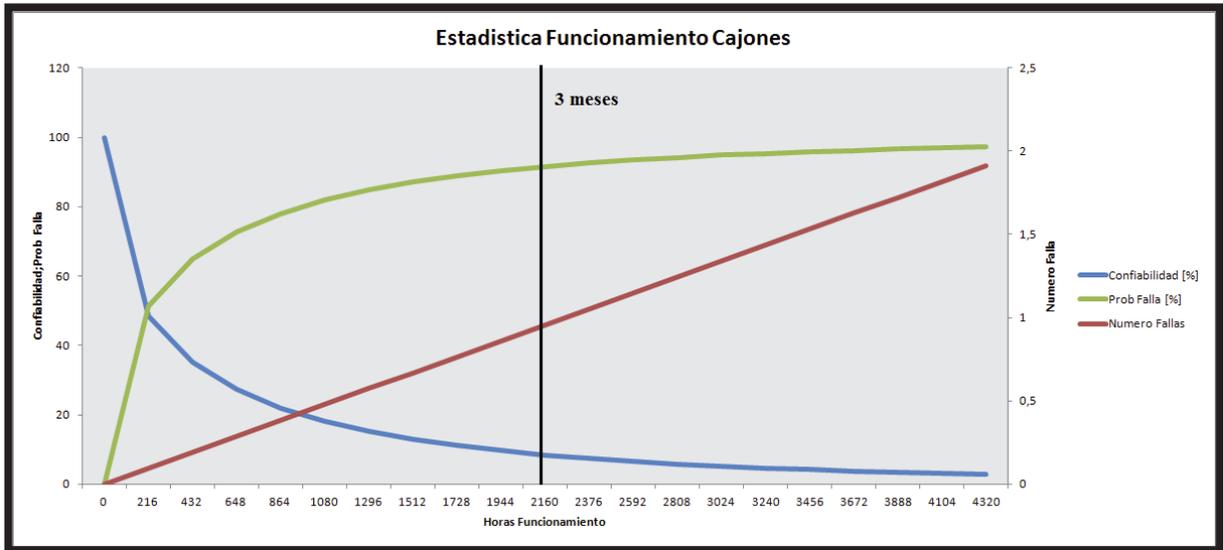


Gráfico 6.2: Estadística Funcionamiento Cajones

Fuente: Software de Mantenimiento

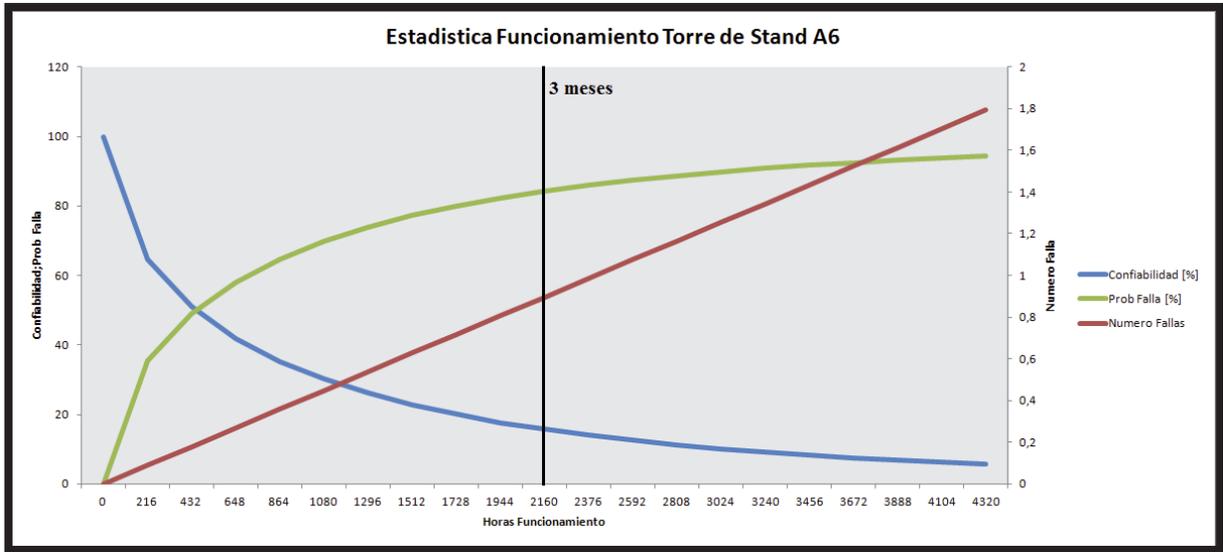


Gráfico 6.3: Estadística Funcionamiento Torre de Stand A6

Fuente: Software de Mantenimiento

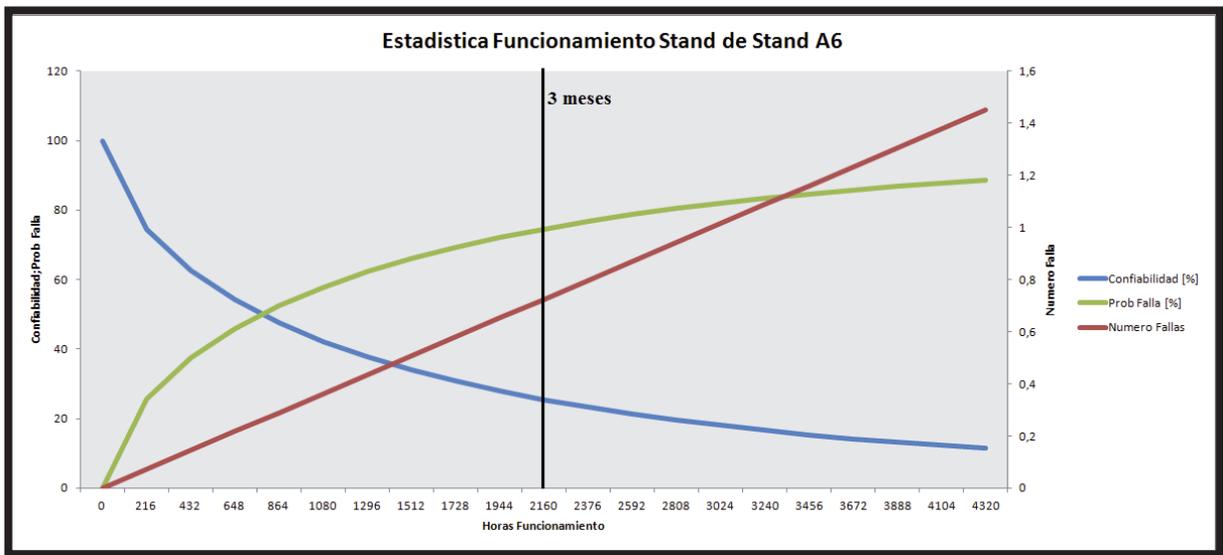


Gráfico 6.4: Estadística Funcionamiento Stand de Stand A6

Fuente: Software de Mantenimiento

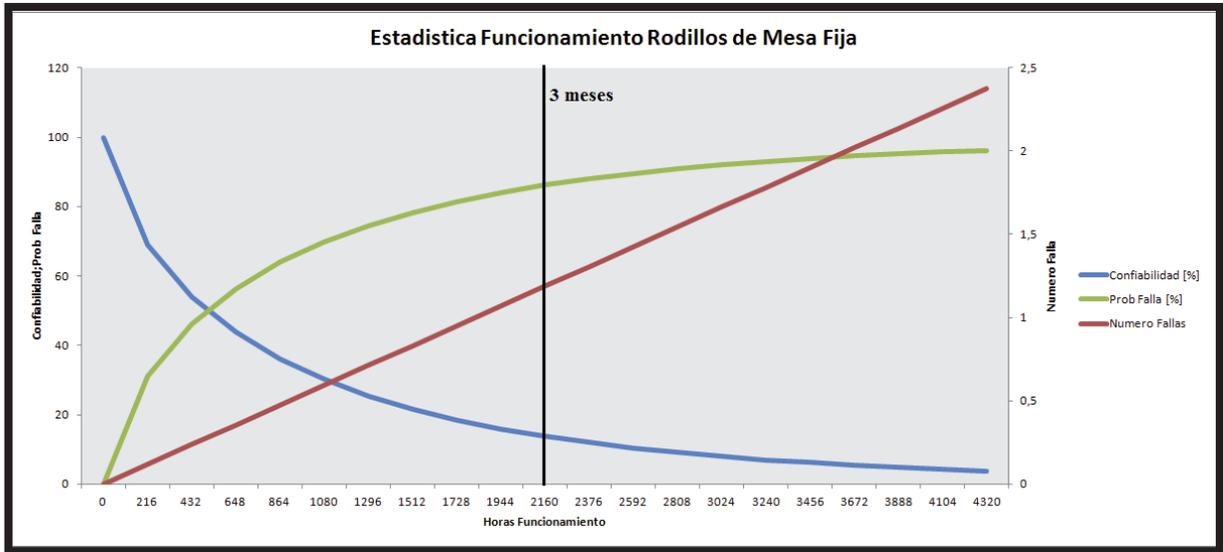


Gráfico 6.5: Estadística Funcionamiento Rodillos de Mesa Fija

Fuente: Software de Mantenimiento

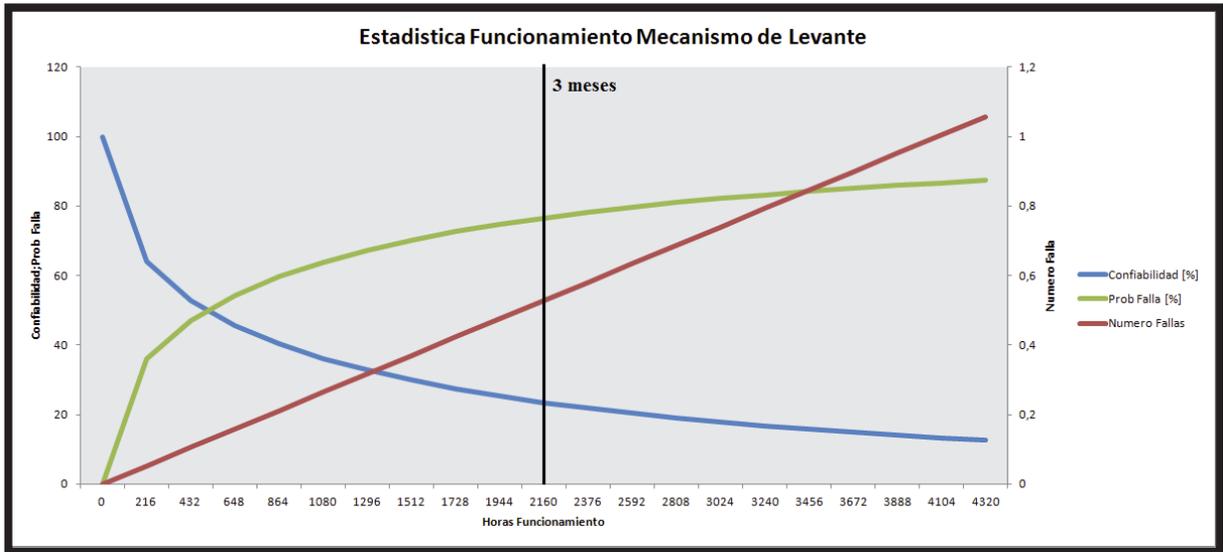


Gráfico 6.6: Estadística Funcionamiento Mecanismo de Levante

Fuente: Software de Mantenimiento

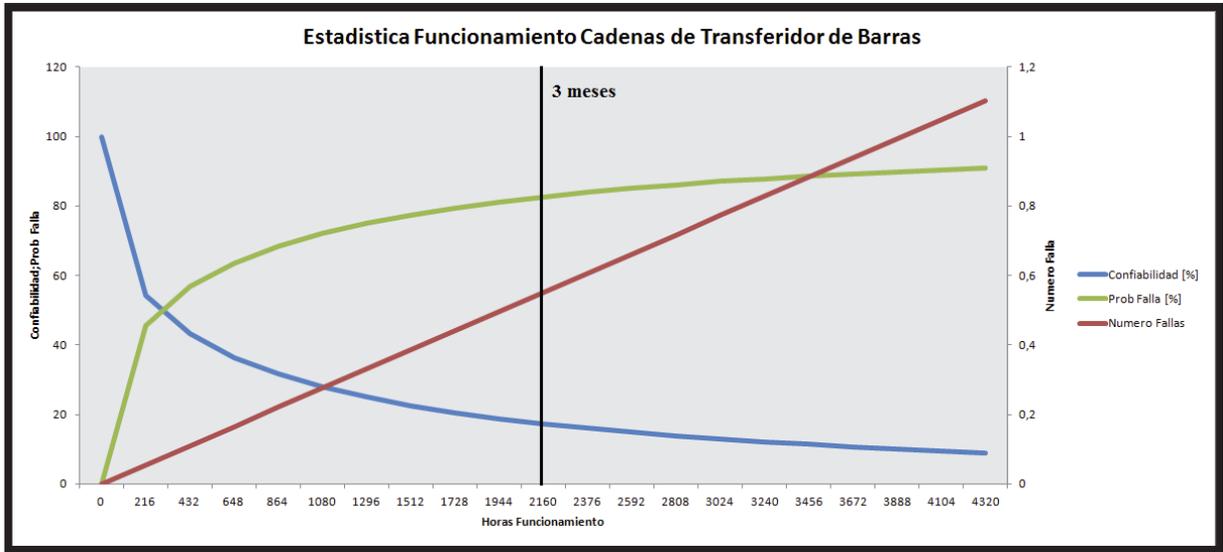


Gráfico 6.7: Estadística Funcionamiento Cadenas de Transferidor de Barras

Fuente: Software de Mantenimiento

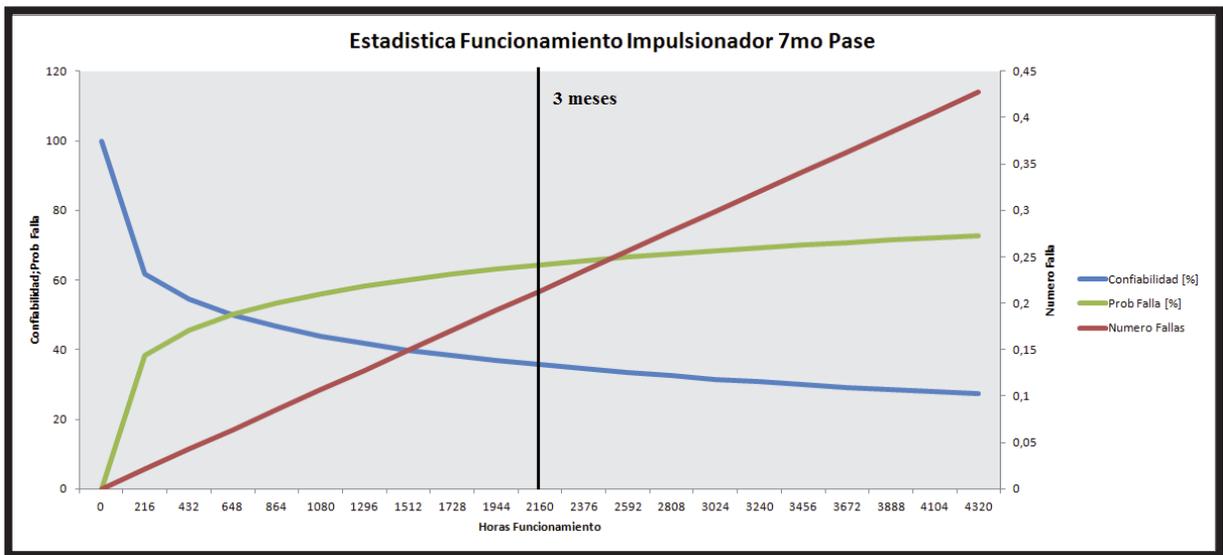


Gráfico 6.8: Estadística Funcionamiento Impulsor 7mo Pase

Fuente: Software de Mantenimiento

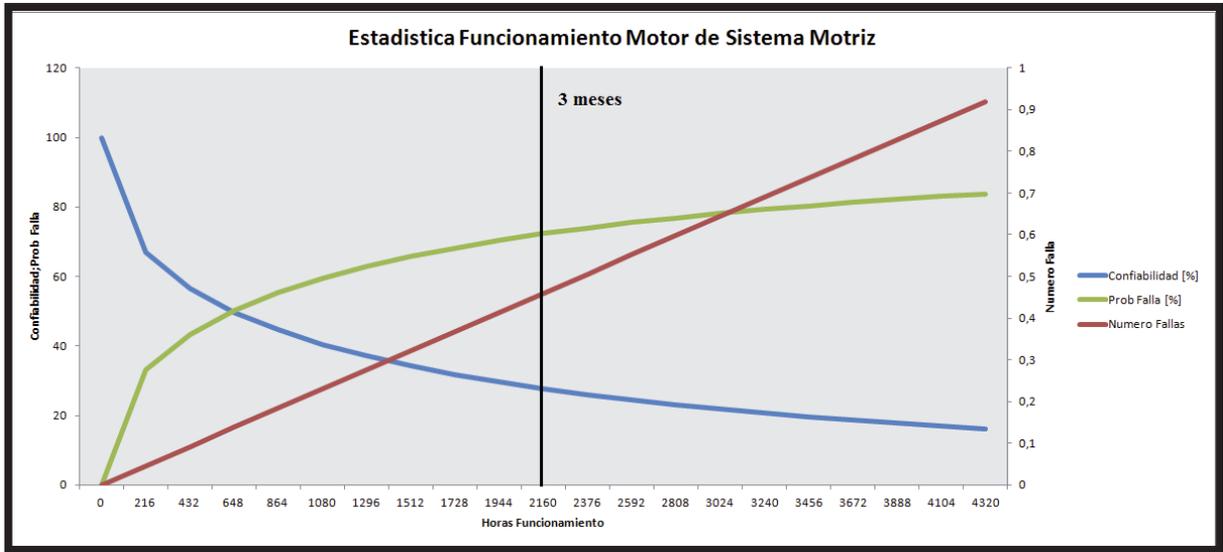


Gráfico 6.9: Estadística Funcionamiento Motor de Sistema Motriz

Fuente: Software de Mantenimiento

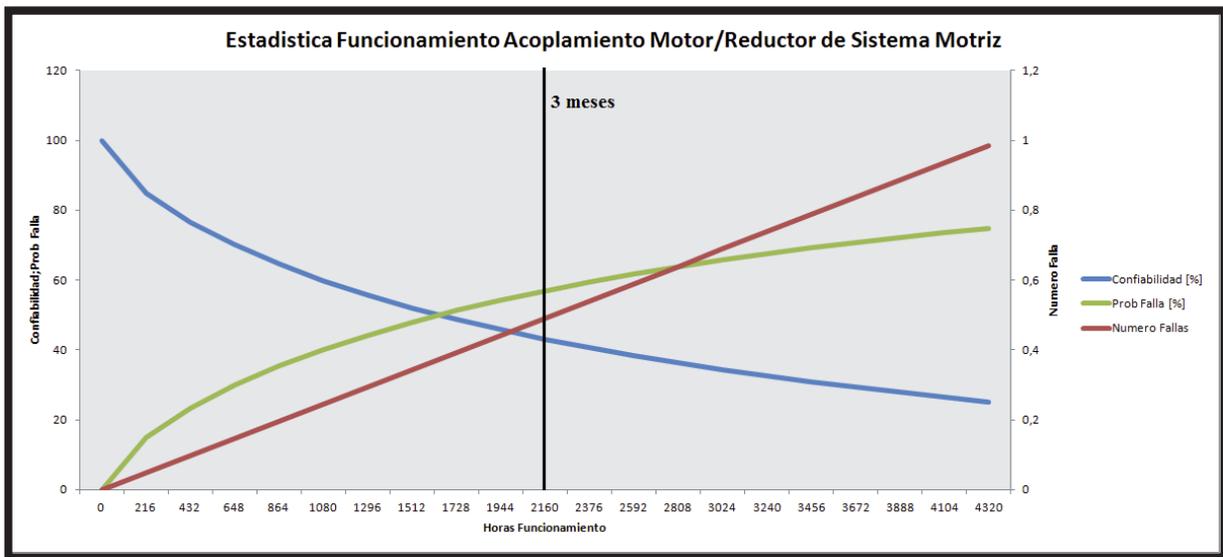


Gráfico 6.10: Estadística Funcionamiento Acoplamiento Motor/Reductor

Fuente: Software de Mantenimiento

Una vez conocidas las interrupciones de estos subequipos críticos y los gráficos arrojados por el software de mantenimiento, se procede a hacer una tabla comparativa (tabla 6.2) entre lo que proyectó el software y lo que sucedió realmente.

			Caso Real	Probabilidades Software de Mantenimiento		
Equipo	Subequipo	Frecuencia Mant Preventivo	Interrupciones Ultimos 3 meses	Confiabilidad (3 meses)	Probabilidad de Falla (3 meses)	N° Fallas Mínimas Esperadas (3 meses)
Cizalla T3	Mecanismo de Corte	Semanalmente	2	5%	95%	1.5
Cajones	Cajones	Semanalmente	6	6%	94%	1
Stand A6	Torre	Semanalmente	No tiene	15%	85%	1
Stand A6	Stand	Semanalmente	1	24%	76%	0.8
Mesa Fija	Rodillos	Semanalmente	2	12%	88%	1.3
Carro Transferidor Mantos	Mecanismo de Levante	Semanalmente	No tiene	24%	76%	0.6
Transferidor de Barras	Cadenas	Semanalmente	1	20%	80%	0.6
Mesa Fija	Impulsorador 7mo Pase	Trimestralmente	1	34%	66%	0.2
Sistema Motriz	Motor	Mensualmente	1	29%	71%	0.5
Sistema Motriz	Acoplamiento Motor/Reductor	Mensualmente	No tiene	41%	59%	0.5

Tabla 6.2: Comparación Proyección y Realidad de 10 Subequipos mas Críticos

Fuente: Programa de Mantenimiento

De la tabla anterior podemos concluir que se cumple en gran medida lo que el software proyectó, es importante destacar que lo ideal hubiese sido esperar un año al menos desde la última actualización (25 noviembre 2014) para hacer una comparación más exacta, ya que observando probabilidades de falla de un 100% se puede concluir de mejor manera si ocurrió la falla o no, una probabilidad de falla del 100% indica que el subequipo fallará sin lugar a duda. Para un periodo de tres meses no se alcanzan aún probabilidades de falla de 100% para ningún subequipo, pero es un periodo suficientes para tener una idea de cómo se comporta el programa.

La frecuencia de mantenimiento preventivo se definió en función de la probabilidad de falla y números de fallas, esto quiere decir que si la probabilidad de falla es superior a un 50% para un determinado periodo de evaluación, se recomienda generar un mantenimiento preventivo antes que culmine este periodo, en caso de existir una probabilidad de falla menor a un 50% para un determinado periodo pero con un número de falla mayor a 1, se recomienda también generar un mantenimiento preventivo antes que termine este periodo. De esta manera se establecieron las frecuencias de mantenimientos preventivos de todos los subequipos del laminador, en conjunto también con el criterio del staff de mantenimiento.

Se analiza a continuación los datos entregados por la tabla 6.2:

- ✓ Mecanismo de Corte: el software indica que este subequipo posee una confiabilidad de un 5% y por lo tanto una probabilidad de falla de un 95% para los próximos tres meses (a partir del 25 de noviembre del 2014), y si es que llega a fallar lo hará al menos 1,5 veces. En la realidad, en este periodo, el mecanismo de corte falló 2 veces. Con esto podemos concluir que el software se acercó bastante a lo que paso realmente en este periodo, se cumplió su baja confiabilidad y estuvo cerca de la cantidad de veces que falló (1.5 a 2). La frecuencia de mantenimiento preventivo se ha establecido semanalmente (cada 168 horas), ya que si se hace mensualmente (cada 720 horas) la probabilidad de falla es de un 80%, valor muy por sobre el criterio establecido (50%).

- ✓ Cajones: para el periodo en estudio el software indicó una confiabilidad de un 6% y por lo tanto una probabilidad de falla de un 94%, y arrojó que al menos fallaría una vez en el mismo periodo. En la realidad falló 6 veces. Para este caso no se ha cumplido acertadamente lo proyectado en cuanto a la cantidad de veces que falló el subequipo, sin embargo el subequipo falló como lo indicó su alta probabilidad de falla. Consultando por la alta cantidad de fallas ocurridas en este periodo, se debió a un hecho aislado, producto de un cajón

que tiene un excesivo desgaste y que no ha podido ser cambiado. La frecuencia de mantenimiento preventivo se ha determinado semanalmente (cada 168 horas), si se hiciera mensualmente (cada 720 horas) la probabilidad de falla aún sería alta, un 78%, muy por encima del criterio.

- ✓ Torre: en este caso el software proyectó un 15% de confiabilidad y por lo tanto un 85% de probabilidad de falla, con al menos una falla en este periodo. Sin embargo en este periodo aún no han ocurrido interrupciones. A pesar de tener una muy baja confiabilidad este subequipo no ha fallado, pero puede ser que lo haga en las próximas semanas, para saber de manera precisa se recomienda una evaluación del software con datos de al menos un año, un periodo de 3 meses es un periodo muy breve para llegar a una conclusión. La frecuencia de mantenimiento preventivo se ha instaurado semanalmente (cada 168 horas), ya que mensualmente (cada 720 horas) existe una probabilidad de falla por sobre un 60%.

- ✓ Stand: para este subequipo el software proyectó un 24% de confiabilidad y por lo tanto un 76% de probabilidad de falla, además proyectó que debiese fallar 0.8 veces en este periodo (no alcanza a fallar pero está cerca de hacerlo). En la realidad ocurrió 1 interrupción, lo que indica que el software estuvo bastante acertado, ya que se cumplió su baja confiabilidad y estuvo cerca de la cantidad de fallas esperadas (0.8 cerca de 1). La frecuencia de mantenimiento preventivo se estableció semanalmente (cada 168 horas), al realizarlo mensualmente (cada 720 horas), existe una probabilidad de falla sobre el 50%, encima del criterio establecido.

- ✓ Rodillos: el software ha arrojado una confiabilidad de un 12% y por lo tanto una probabilidad de falla de un 88%, además indica que en este periodo debiese fallar al menos 1.3 veces. En la realidad ha fallado 2 veces, cumpliendo el software con la baja confiabilidad proyectada y acercándose en gran medida a la cantidad de veces que el subequipo falló. La frecuencia de

mantenimiento preventivo será semanalmente (cada 168 horas), porque si se hiciera mensualmente (cada 720 horas) tendría una probabilidad de falla sobre el 60%, valor aun bastante elevado.

- ✓ Mecanismo de Levante: esta vez el software indica que existe una confiabilidad de un 24% y por lo tanto una probabilidad de falla de un 76%, además se espera que el subequipo no alcance a fallar pero se encuentre cerca de estarlo (0.6 veces). En los tres meses evaluados no ocurrieron interrupciones, por lo tanto, en este caso el software acertó en la tasa de falla pero la confiabilidad es muy baja como para que no hayan ocurrido interrupciones, es muy probable que evaluando datos de un año desde la última actualización, se tengan conclusiones más precisas acerca del comportamiento del software. La frecuencia de mantenimiento preventivo será semanalmente (cada 168 horas), si fuese mensualmente (cada 720 horas) existe una probabilidad de falla de un 60%, superior al criterio establecido.
- ✓ Cadenas: este subequipo arroja una confiabilidad de un 20% y por lo tanto una probabilidad de falla de un 80%, se espera además que el subequipo no alcance a fallar pero se encuentre cerca de estarlo (0.6 veces). En la realidad ha ocurrido una interrupción en este periodo, en consecuencia la estadística se encuentra bastante acertada, cumpliendo con su baja confiabilidad y acercándose bastante a las fallas esperadas (0.6 cerca de 1). La frecuencia de mantenimiento preventivo se ha definido semanalmente (cada 168 horas), si fuese mensual (cada 720 horas) existe una probabilidad de falla de un 70%, muy sobre la estipulada.
- ✓ Impulsor 7mo Pase: observando la tabla vemos que existe una confiabilidad de un 34%, y por lo tanto una probabilidad de falla de un 66%, además indica que el subequipo está lejos de generar su primera falla (0.2 veces). En este periodo evaluado ha ocurrido una interrupción, por lo tanto el software es preciso en cuanto a su confiabilidad (muy baja) pero es impreciso en la cantidad de fallas esperadas (0.2 a 1). Para obtener mejores resultados

se recomienda evaluar un periodo mínimo de 1 año desde la última actualización. La frecuencia de mantenimiento preventivo se ha dispuesto trimestralmente (cada 2880 horas) ya que si se hiciera semestralmente (cada 4320 horas) existe una probabilidad de falla cerca del 70%.

- ✓ Motor: en este caso se tiene una confiabilidad de un 29% y por lo tanto una probabilidad de falla de un 71%, además señala que este subequipo no alcanzaría a fallar pero podría estar cerca de hacerlo (0.5 veces). En el periodo evaluado este subequipo ha fallado una vez, por lo tanto el software cumple con su baja confiabilidad y está bastante cerca de las fallas esperadas (0.5 cerca de 1). La frecuencia de mantenimiento preventivo se ha establecido mensualmente (cada 720 horas), un mantenimiento trimestral (cada 2880 horas) tiene una probabilidad de falla por sobre el 70%, por lo tanto no es un mantenimiento viable.

- ✓ Acoplamiento Motor/Reductor: se aprecia que este subequipo tiene una confiabilidad de un 41% y por lo tanto tiene una probabilidad de falla de un 59% para los próximos 3 meses, se espera que en este periodo no alcance a fallar pero se encuentra cerca de estarlo (0.5 veces). En el periodo evaluado no han ocurrido interrupciones. Es este caso el software cumple en gran medida con las fallas esperadas por que en ambos casos el subequipo no falla, sin embargo la confiabilidad es muy baja como para que no haya ocurrido alguna interrupción, se recomienda evaluar el software con datos de un año a partir de su última actualización para obtener conclusiones más precisas. La frecuencia de mantenimiento preventivo se determinó mensualmente (cada 720 horas), un mantenimiento trimestral (cada 2880 horas) involucra una probabilidad de falla sobre el 60%.

Se ha podido establecer con los análisis anteriores, que el software de mantenimiento diseñado en esta memoria especialmente para Gerdau, se comporta de manera bastante acertada considerando que el análisis se hizo solo con los datos

de los últimos tres meses. Podemos concluir, solo con estos 10 subequipos, que cuando existe una probabilidad de falla sobre un 59%, existe una probabilidad de un 70% de que ocurra al menos una falla real, por lo tanto, se debe evitar hacer mantenimientos preventivos a los subequipos críticos con una frecuencia menor al periodo correspondiente (horas de funcionamiento) donde ocurre una probabilidad de falla de un 50% en los gráficos. Por otro lado, en estos 10 subequipos analizados, se acercó bastante la cantidad de fallas esperadas a las fallas que realmente ocurrieron, el único subequipo que no cumplió satisfactoriamente a lo esperado fueron los cajones, debido a un hecho aislado previamente explicado.

Con un análisis para un periodo de un año o más a partir de la última fecha de actualización (25 noviembre 2014), las confiabilidades, probabilidades de falla y tasas de falla, se deberían comportar aún más precisas, la razón de esto se debe a que en este periodo se podrían llegar a probabilidades de falla de un 100% (0% confiabilidad), haciendo más fácil la decisión si el programa cumplió o no cumplió con lo proyectado.

Los componentes de los subequipos analizados no todos tienen la misma antigüedad, y no todos son comprados al mismo fabricante, influyendo quizás en el mal comportamiento mecánico, eléctrico y/o electrónico que algunos poseen. Además muchos de los subequipos son muy antiguos, probablemente encontrándose en la fase de desgaste de la curva de la bañera, donde el número de fallas irá aumentando progresivamente. A raíz de lo anterior se recomienda tener subequipos elaborados por el mismo fabricante y cambiar aquellos subequipos que el número de fallas ha ido aumentando con el tiempo.

En el [Anexo 6](#) se detalla el presupuesto de los costos de mantenimiento del laminador de perfiles de Renca para el año 2015, esta planilla fue hecha por el área de planificación de Gerdau considerando los costos promedios por ítem de años anteriores al 2015. Sin haber hecho aun el análisis que se ha presentado en esta memoria, por lo tanto existe una gran oportunidad para el jefe de mantenimiento y su

equipo de mejorar estos indicadores proyectados y por consiguiente bajar los costos de mantenimiento, que tienen como tope los valores entregados en la planilla. En la planilla de costos, el presupuesto de mantenimiento se encuentra en función de las toneladas producidas, de manera que una interrupción por alguna falla inesperada de un subequipo podría interferir directamente en los costos de mantenimiento, una menor producción a la esperada en el mes, significa un menor presupuesto al planificado para la mantención de los subequipos. Para el año 2015 se espera producir 64.400 toneladas, y se accede a un promedio de 35,24 USD/ton para mantenimiento de los equipos, destacando que el mes que menos se produce es septiembre con 2.500 toneladas y con un presupuesto de 280,53 USD/ton, la razón de esto se debe a que septiembre es el mes donde se realiza la parada de mantenimiento que dura entre dos y tres semanas. Los gastos en mantenimiento corresponden al 27% de los gastos totales que tiene el laminador (Costo energía, Costo del personal, Costo operación, etc), por lo tanto reducir pequeños porcentajes en los costos de mantenimiento significa el incremento inminente de las utilidades de la empresa.

Es importante mencionar que cada Zona del laminador cuenta con un padrino, el padrino es el técnico mecánico, eléctrico y electrónico, asignado por el jefe de mantenimiento, a cargo de mantener en óptimas condiciones esta Zona y en el caso de existir una interrupción generada por algún subequipo de esta Zona el padrino es el que lo debe reparar, por lo tanto el padrino es el que se encuentra más familiarizado con los subequipos de su Zona, en todos los aspectos. Con el software de mantenimiento el padrino podrá informar al jefe de mantenimiento que subequipos requieren de manera urgente algún tipo de intervención mecánica, eléctrica o electrónica antes que se generen interrupciones que produzcan alguna falla en cadena y por lo tanto pérdidas para el laminador, además el padrino podrá desarrollar un informe completo con la estadística y gráficos que permitan convencer al jefe de mantenimiento que subequipos se deben intervenir para la parada de mantenimiento que se desarrolla dos o tres semanas seguidas al año.

Aumentar la disponibilidad de los equipos del laminador, permite a la empresa contar con mayores tiempos productivos y por lo tanto generar mayor cantidad de productos, visto de manera global, la empresa podrá aumentar sus ingresos a la vez de hacerse más competitiva en el mercado, llegando a mas clientes. La confiabilidad se debe intentar mejorar sin hacer grandes inversiones para obtener una óptima confiabilidad con bajos costos globales.

CAPITULO VII

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones

El laminador de Gerdau Renca, es un laminador muy completo que posee 434 subequipos, por lo que es sumamente importante determinar cuál de ellos son los realmente críticos y cuales resaltan dentro de estos. Una de las razones más importantes para que se debe jerarquizar la criticidad, es debido a que el presupuesto de mantenimiento anual no es suficiente para invertir en mantenimientos preventivos para todos los subequipos del laminador, y que involucren costos en nuevos repuestos y contratación de personal externo a la empresa. Al no alcanzar el presupuesto se debe priorizar aquellos subequipos críticos, que son los que generan mayores pérdidas a la empresa. Gerdau no contaba con un software que le entregara datos estadísticos como confiabilidad, disponibilidad o tiempo medio de reparación que le permitieran decidir fácilmente que subequipo será más crítico que otro. Por esta razón se diseñó e implementó, a partir de esta memoria, un software, creado en Visual Basic, que no solo permite obtener los indicadores antes mencionados sino además se puede estimar la cantidad de fallas esperadas para cada subequipo en un tiempo determinado, el usuario además tiene acceso a la planilla de cálculos, gráficos, Layout.

Una vez aplicados los criterios sugeridos por el software se podrá con el tiempo corroborar que los datos entregados estuvieron bastante acertados como se mostró en el capítulo VI, confiando en un futuro que la reestructuración de mantenimiento, creada a partir de estos indicadores, permitirán optimizar tanto los tiempos de reparación como los recursos, mejorar la vida útil de los equipos y subequipos, y aminorar los costos de mantención y reparación respectivamente.

Una reestructuración de la política de mantención, como la que aquí se sugiere, permite indicar a través de la jerarquización de criticidad, que subequipos deben tener un plan de mantención preventivo, predictivo y/o correctivo. Si a algunos subequipos se les indican un mantenimiento preventivo o predictivo y no lo necesitan, o si se genera un mantenimiento con mayor frecuencia a la necesaria, se estará invirtiendo dinero, mano de obra y tiempo, que hará al laminador menos productivo y al mismo tiempo aumentará innecesariamente los costos de mantención, es por esto la importancia de identificar correctamente la criticidad de los subequipos. Existe un gran diferencia entre la política de mantenimiento existente antes de realizar este análisis y la que debiese existir después de realizar este análisis, en el [Anexo 9](#) se muestra la política de mantenimiento actual y en el [Anexo 8](#) se ilustra la política de mantenimiento que se debe implementar, como se puede ver la política de mantenimiento actual es bastante precaria por lo tanto hay mucho trabajo por realizar y muchos indicadores que se pueden mejorar, es una gran oportunidad para generar cambios.

El plan de mantenimiento diseñado se hace cargo de los 2 subequipos más críticos, haciendo énfasis en los componentes más críticos de estos, sin embargo se debiese hacer lo mismo con todos los subequipos críticos del laminador, con el fin de reducir las interrupciones y con ellos aumentar la disponibilidad del laminador.

7.2. Recomendaciones

- Para el correcto funcionamiento del software se recomienda mantener actualizada la base de datos semanalmente, la razón de esto se debe a que esperar mayor tiempo podría demandar una buena cantidad de horas al jefe de mantenimiento ingresar los datos.
- Se recomienda mantener reuniones entre el jefe de mantenimiento y los técnicos para el análisis correcto de la criticidad de los subequipos.

- Por lo menos una vez al año se debe reevaluar la jerarquización de criticidad, y con ellos la reestructuración de la política de mantenimiento, ya que subequipos que antes no eran críticos lo pueden llegar a ser, o subequipos que son críticos actualmente lo pueden dejar de ser.
- Para recalcular los indicadores que ofrece el software se recomienda dejar calculando de noche el software ya que puede tardar varias horas, dependiendo del computador, en hacer todos los cálculos y actualizar los datos.
- El plan de mantenimiento para los componentes críticos debe aplicarse paso a paso sin embargo debe estar en constante actualización y abierto a posibles cambios.
- Con los datos entregados por el software y otros análisis se espera que la gerencia tenga un mayor compromiso con la mantención de los subequipos, entregando mayor capital y así lograr el óptimo funcionamiento de los equipos.
- Se recomienda tener detalles de la antigüedad de los equipos, en caso que un equipo antiguo falle mucho, se sugiere el remplazo de este.
- Gran parte de las interrupciones que se encuentran registradas en el “Nivel 2”, están declaradas de manera errónea, esto se debe a que una misma interrupción se encuentra declarada de manera fraccionada. Para conocer el tiempo real de la interrupción se recomienda utilizar el programa “Suma Interrupciones” presente en el software, creado especialmente para solucionar este error. Se puede tener acceso a este programa a través del botón “Suma Interrupciones” disponible en la página principal del software.

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

Bibliografía

- ◆ Libro: **“Manual de Gestión de Activos y Mantenimiento”**
Adolfo Arata
Luciano Furlanetto

- ◆ Libro: **“Probabilidad y Estadística para Ingenieros”**
Ronald Walpole
Raymond Meyers

- ◆ Libro: **“Fiabilidad: La distribución de Weibull”**
José María Tamborero del Pino

- ◆ Libro: **“Mantenimiento centrado en confiabilidad usando métodos de simulación del ciclo de vida”**
Juan Carlos Duarte Holguín

- ◆ Libro: **“Teoría de la confiabilidad”**
Ana Eugenia Luna

- ◆ Libro: **“Optimización estadística del mantenimiento industrial”**
Oliverio García Palencia

- ◆ Apuntes: **“Aplicación de la Técnica de Proceso de Análisis Jerárquico en Procesos de Jerarquización de Activos de la Industria Petrolera”**
Carlos Parra

Referencias

- ◆ Publicación Internet:
“Propuesta de un modelo de gestión de mantenimiento y sus principales herramientas de apoyo”
Pablo Viveros
<http://www.scielo.cl>

- ◆ Publicación Internet:
“Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad, entendiendo sus diferencias”
Alirio J Jimenez N
<http://maintenancela.blogspot.com/2011/10/confiabilidad-disponibilidad>

- ◆ Publicación Internet:
“Métodos lineales y estimación por mínimos cuadrados”
Victor Mata
<http://www.usb.edu.co>

- ◆ Publicación Internet:
“Análisis probabilístico de riesgos: Metodología del "Árbol de fallos y errores"
Tomas Piqué Ardanuy
<http://www.siafa.com.ar>

ANEXOS

Anexo 1
Tabla de Productos Finales

PRODUCTOS	CALIDAD	APLICACIONES
Perno Saferock	A440-280, A630-420	Los pernos Saferock® para refuerzo de rocas se utilizan para la fortificación y el reforzamiento de rocas, taludes y suelos. Estas permiten mantener la integridad de la roca sometida a esfuerzos, de manera que actúen de forma efectiva, ya sea como arco o viga tendida a través de la excavación. También para fijar cualquier roca suelta o estrato delgado en la superficie de la cavidad, anclándolos profundamente.
Angulo estructural L-AZA	A270ES, ASTM A36	Para construcción de estructuras metálicas livianas y pesadas, torres de alta tensión, elementos estructurales articulados en uso arquitectónico, placas estereométricas, grúas, carrocerías, partes de carros de FF. CC., etc. También son empleados en elementos de menor sollicitación, como soportes, marcos, muebles, barras de empalme y ferretería eléctrica en general.
Perfil Estrella	SAE1010 y SAE1015	El perfil estrella se utiliza para la confección de estructuras de cerrajería, como protecciones, rejas, portones y todo trabajo relacionado con carpintería metálica. Se puede aplicar con mallas, pletinas, redondos o perfiles ángulo. Las cuatro caras acanaladas, presentan una excelente base para fijar estos productos, realizando las terminaciones con óptima calidad
Barras Planas	A270ES, SAE1010 y SAE1015	Las barras planas se emplean en la fabricación de mordazas y prensas para cables, abrazaderas, piezas y partes de máquinas; tirantes soldados o empalmados a estructuras metálicas, rejas, muebles, etc.

Productos De Gerdau

Fuente: Gerdau S.A

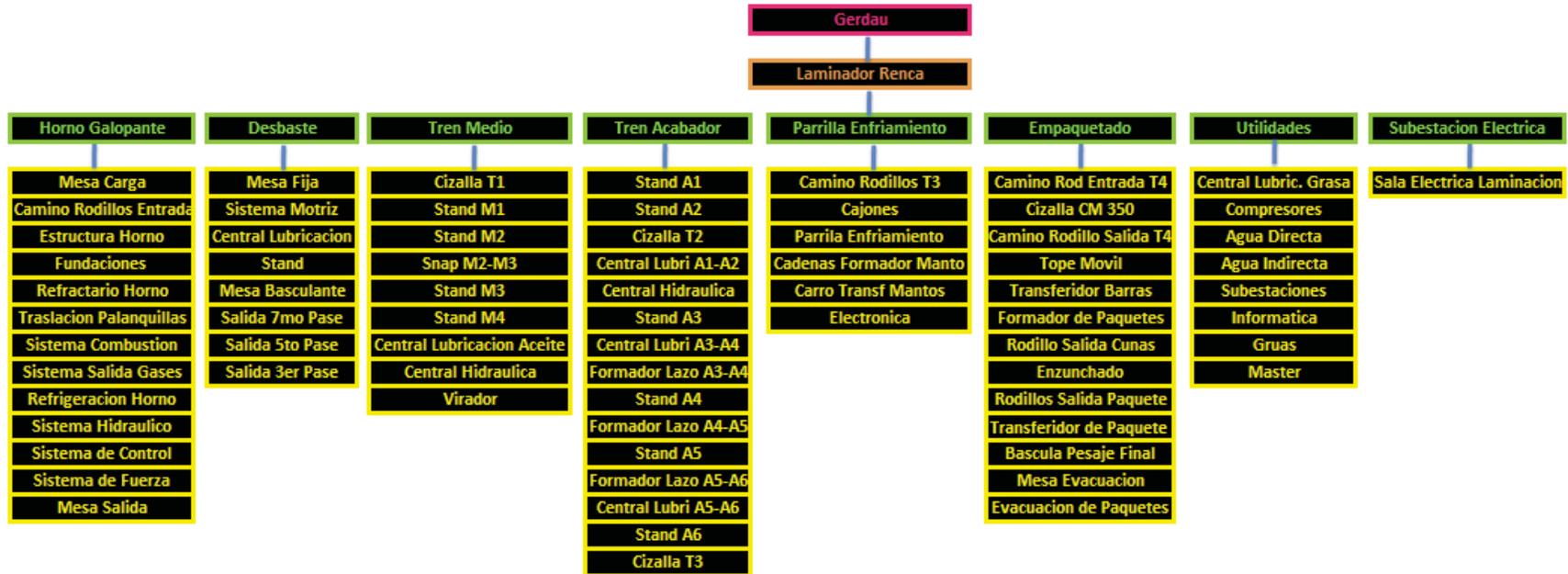
PRODUCTOS	CALIDAD	APLICACIONES
Barras Redondas	SAE 1020, SAE 1045, A270ES	Las barras redondas se aplican en la fabricación de tensores, pernos, tuercas, tornillos, remaches, cadenas, abrazaderas, piezas de ferretería eléctrica y usos industriales. Dependiendo del grado del acero, las piezas o elementos fabricados con redondos, podrán soldarse sin procedimientos especiales, si el carbono equivalente (Ceq) es inferior a 0,48%.
Barras Cuadradas	SAE1010 y SAE1015	Las barras cuadradas se pueden utilizar en la fabricación de clavos rieleros, rejas, muebles, estructuras de edificación, partes de máquinas, etc.
Barras Hexagonales	SAE 1020 y SAE 1045	Las barras hexagonales se aplican en la fabricación de herramientas manuales, elementos de conexión, barretillas de uso minero, punzones, chuzos, etc.
Barras de refuerzo para hormigón	A440-280H y A630-420H	Las Barras de Refuerzo Gerdau AZA para Hormigón Armado, se usan en la confección de armaduras de cualquier elemento de hormigón armado, ya sea vaciado en obra, pretensado o pre-moldeado. Ejemplo de aplicaciones son: losas y muros, vigas y columnas, muros de contención, estanques de agua, edificios en altura, represas, diques, pavimentos en general y de aeropuertos

Productos De Gerdau

Fuente: Gerdau S.A

Anexo 2

Esquema Zonas y sus Equipos del Laminador Gerdau Renca

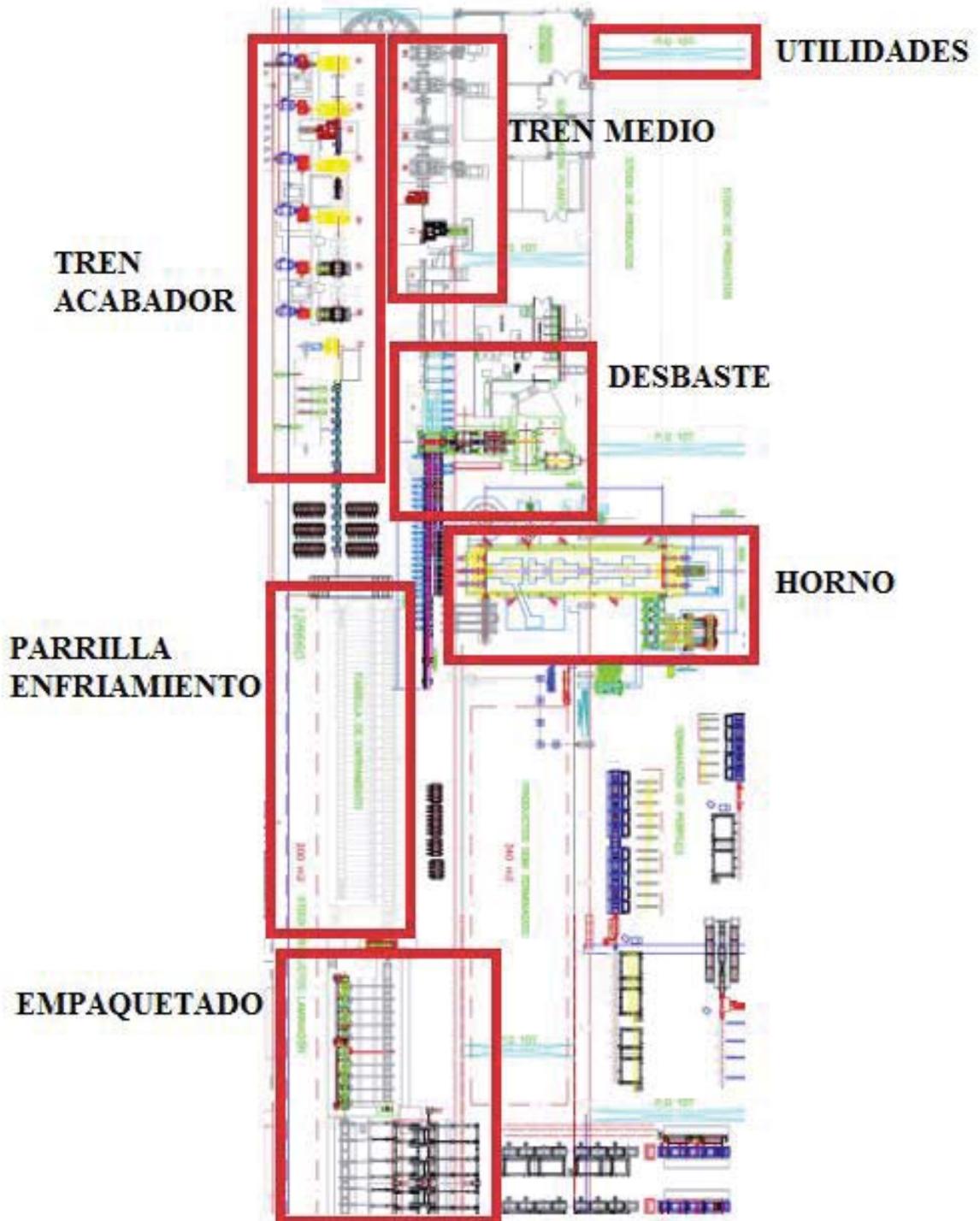


Zonas y Equipos del Laminador

Fuente: Gerdau S.A

Anexo 3

Layout Laminador Gerdau Renca



Layout Laminador Renca Gerdau

Fuente: Gerdau S.A

Anexo 4

Algoritmos más Importantes del Software de Mantenimiento

```

Sub IngresoActualizacion()
End Sub

Hoja4.Select

Cells(3, 55).Value = frmFormularioActualizar.textPeriodoIndicadores.Text
Cells(3, 125).Value = frmFormularioActualizar.textPeriodoIndicadores.Text
Cells(3, 195).Value = frmFormularioActualizar.textPeriodoIndicadores.Text
Cells(3, 265).Value = frmFormularioActualizar.textPeriodoIndicadores.Text

Dim Fecha13 As Date
Fecha13 = Format("02/03/2010", "Short date")
Fecha13 = frmFormularioActualizar.textFechaActual2.Text
Cells(3, 15) = Fecha13
Hoja4.Cells(3, 15).Copy
ActiveSheet.Paste Hoja1.Range("B11")

Range("Q2:Q2000").End(xlDown).Select
Selection = Cells(3, 15) - Cells(5, 15)

Range("BQ2:BQ2000").End(xlDown).Select
Selection.Value = frmFormularioActualizar.ComboBox5.Text

Range("S2:S2000").End(xlDown).Select
Selection.Value = Range("Q2:Q2000").End(xlDown) * 24 * Range("BQ2:BQ2000").End(xlDown)

Range("AG2").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "=COUNT(RC[-14]:R[2000]C[-14])"

Range("S2:S2000").Select
Selection.Copy
Range("U2").Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
:=False, Transpose:=False
Range("U1:U2000").Select
Application.CutCopyMode = False
ActiveWorkbook.Worksheets("MPMCHG").Sort.SortFields.Clear
ActiveWorkbook.Worksheets("MPMCHG").Sort.SortFields.Add Key:=Range( _
"U1"), SortOn:=xlSortOnValues, Order:=xlAscending, DataOption:= _
xlSortNormal
With ActiveWorkbook.Worksheets("MPMCHG").Sort
    .SetRange Range("U2:U2000")
    .Header = xlNo
    .MatchCase = False
    .Orientation = xlTopToBottom
    .SortMethod = xlPinYin
    .Apply
End With

Range("W2").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 =
"=IF(ISERROR(RANK(RC[-2],R2C21:R2000C21,1)), "", RANK(RC[-2],R2C21:R2000C21,1))"
Range("W2").Select
Selection.AutoFill Destination:=Range("W2:W2000"), Type:=xlFillDefault
Range("W2:W2000").Select

Range("Y2").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 =
"=IF(ISERROR((RC[-2]-0.3)/(R2C33+0.4)), "", (RC[-2]-0.3)/(R2C33+0.4))"
Range("Y2").Select
Selection.AutoFill Destination:=Range("Y2:Y2000"), Type:=xlFillDefault
Range("Y2:Y2000").Select

Range("AA2").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "=IF(ISERROR(1-RC[-2]), "", (1-RC[-2]))"
Range("AA2").Select
Selection.AutoFill Destination:=Range("AA2:AA2000"), Type:=xlFillDefault
Range("AA2:AA2000").Select

Range("AC2").Select

```

Algoritmo Para Actualizar Datos

Fuente: Software Mantenimiento

```

ActiveCell.FormulaR1C1 = "=IF(ISERROR(LN(RC[-8]-R2C39)),\"\",LN(RC[-8]-R2C39))"
Range("AC2").Select
Selection.AutoFill Destination:=Range("AC2:AC2000"), Type:=xlFillDefault
Range("AC2:AC2000").Select

Range("AE2").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 =
"=IF(ISERROR(LN(LN(1/(1-RC[-6])))),\"\",LN(LN(1/(1-RC[-6]))))"
Range("AE2").Select
Selection.AutoFill Destination:=Range("AE2:AE2000"), Type:=xlFillDefault
Range("AE2:AE2000").Select

Range("AK2").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 =
"=IF(ISERROR(SLOPE(RC[-6]:R[1998]C[-6],RC[-8]:R[1998]C[-8])),\"\",",
SLOPE(RC[-6]:R[1998]C[-6],RC[-8]:R[1998]C[-8]))"

Range("AO2").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 =
"=IF(ISERROR(INTERCEPT(RC[-10]:R[1998]C[-10],RC[-12]:R[1998]C[-12])),\"\",",
INTERCEPT(RC[-10]:R[1998]C[-10],RC[-12]:R[1998]C[-12]))"

Range("AI2").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "=EXP(-(RC[6]/RC[2]))"

Range("AQ2").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 =
"=IF(ISERROR(RSQ(RC[-12]:R[1998]C[-12],RC[-14]:R[1998]C[-14])),\"\",",
RSQ(RC[-12]:R[1998]C[-12],RC[-14]:R[1998]C[-14]))"
Range("AQ3").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "=R[-1]C"

Range("AS2").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 =
"=IF(ISERROR(PEARSON(RC[-14]:R[1998]C[-14],RC[-16]:R[1998]C[-16])),\"\",",
PEARSON(RC[-14]:R[1998]C[-14],RC[-16]:R[1998]C[-16]))"
Range("AS3").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "=R[-1]C"

Range("AU2").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "(RC[-26]-0.01)"

If Range("AK2") >= 10 Then
    Application.DisplayAlerts = False
    SolverOk SetCell:="$AQ$2", MaxMinVal:=1, ValueOf:="0", _
    ByChange:="$AM$2"
    SolverAdd CellRef:="$AM$2", relation:=1, FormulaText:="$AU$2"
    SolverOk SetCell:="$AQ$2", MaxMinVal:=1, ValueOf:="0", _
    ByChange:="$AM$2"
    SolverSolve True
End If

Range("AW2").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 =
"=IF(ISERROR(SUM(RC[-36]:R[1998]C[-36])*24),\"\",SUM(RC[-36]:R[1998]C[-36])*24)"

Range("AY2").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "=IF(ISERROR(RC[-2]/RC[-18]),\"\",RC[-2]/RC[-18])"
Range("AY3").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "=R[-1]C"

Range("BA2").Select
Range("BA2").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 =
"=IF(ISERROR((RC[-14]+(RC[-18]*EXP(GAMMALN((RC[-16]+1)/RC[-16])))),\"\",",
(RC[-14]+(RC[-18]*EXP(GAMMALN((RC[-16]+1)/RC[-16]))))"
Range("BA3").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "=R[-1]C"

Range("BE2").Select

```

Continuación Algoritmo Para Actualizar Datos

Fuente: Software Mantenimiento

```
ActiveCell.FormulaR1C1 = "=EXP(-((R[1]C[-2]-RC[-18])/RC[-22])^RC[-20]))"
Range("BE3").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "=R[-1]C"

Range("BG2").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "(RC[-6]/(RC[-6]+RC[-8]))"
Range("BG3").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "=R[-1]C"

Range("BI2").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 =
"=(RC[-24]/RC[-26])*((R[1]C[-6]-RC[-22])/RC[-26])^(RC[-24]-1)"

Range("BK2").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "=RC[-2]*RC[-6]"

Range("BM2").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "=1-RC[-6]"
Range("BM3").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "=R[-1]C"

Range("BO2").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "(1-RC[-10])"
Range("BO3").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "=R[-1]C"

Range("BC4").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "=R[-1]C/20"
Range("BC26").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "=R[-23]C"
Range("BC25").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "=R[1]C-R4C55"
Range("BC25").Select
Selection.AutoFill Destination:=Range("BC6:BC25"), Type:=xlFillDefault
Range("BC6:BC25").Select

Range("BE6").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "100"
Range("BE7").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "=EXP(-((RC[-2]-R2C39)/R2C35)^R2C37))*100"
Range("BE7").Select
Selection.AutoFill Destination:=Range("BE7:BE26"), Type:=xlFillDefault
Range("BE7:BE26").Select

Range("BI6").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "0"
Range("BI7").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "(R2C37/R2C35)*((RC[-6]-R2C39)/R2C35)^(R2C37-1)"
Range("BI7").Select
Selection.AutoFill Destination:=Range("BI7:BI26"), Type:=xlFillDefault
Range("BI7:BI26").Select

Range("BK6").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "0"
Range("BK7").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "=RC[-2]*RC[-6]/100"
Range("BK7").Select
Selection.AutoFill Destination:=Range("BK7:BK26"), Type:=xlFillDefault
Range("BK7:BK26").Select

Range("BG6").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "0"
Range("BG7").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "=RC[2]*RC[-4]"
Range("BG7").Select
Selection.AutoFill Destination:=Range("BG7:BG26"), Type:=xlFillDefault
Range("BG7:BG26").Select

Range("BO6").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "(100-RC[-10])"
Range("BO6").Select
```

Continuación Algoritmo Para Actualizar Datos

Fuente: Software Mantenimiento

```
Selection.AutoFill Destination:=Range("B06:B026"), Type:=xlFillDefault
Range("B06:B026").Select

If Cells(3, 1) = Empty Then
    Cells(2, 39) = 0
    Cells(3, 51) = 0
    Cells(3, 57) = 1
    Cells(3, 59) = 1
End If
```

```
Bucar_Calculos - 1

Sub BuscarCalculos_1()

    If frmBuscarCalculos.ComboBox1.Text = "Horno_Galopante" Then
        If frmBuscarCalculos.ComboBox2.Text = "Mesa_Carga" Then
            If frmBuscarCalculos.ComboBox3.Text = "Mesa_Rompe_Paquete" Then
                Hoja4.Select
            End If
        End If
    End If
End Sub
```

Algoritmo para Buscar Calculos

Fuente: Software Mantenimiento

```
Sub BuscarConfiabilidad_1()

    Application.ScreenUpdating = False

    If frmBuscarIndicadorConf.ComboBox1.Text = "" Then
        If frmBuscarIndicadorConf.ComboBox2.Text = "" Then
            If frmBuscarIndicadorConf.ComboBox3.Text = "" Then

                ActiveWindow.ScrollWorkbookTabs Position:=xlFirst
                Sheets("Confiabilidad").Select
                ActiveWindow.SmallScroll Down:=-3
                Range("F9:I11").Select
                Application.CutCopyMode = False
                Selection.Copy
                ActiveWindow.ScrollWorkbookTabs Position:=xlLast
                Sheets("MostrarConf").Select
                Range("G9").Select
                ActiveSheet.Paste
                Range("A1").Select

            End If
        End If
    End If
End Sub
```

Algoritmo para Buscar Indicadores

Fuente: Software Mantenimiento

```
Sub Graficos1()  
  
If frmGraficos.ComboBox1.Text = "Horno Galopante" Then  
If frmGraficos.ComboBox2.Text = "Mesa_Carga" Then  
If frmGraficos.ComboBox3.Text = "Mesa_Rompe_Paquete" Then  
If frmGraficos.ComboBox10.Text = "Todas" Then  
If frmGraficos.ComboBox11.Text = "Estadistica" Then  
Hoja360.Select  
ActiveSheet.ChartObjects.Add(50, 80, 900, 400).Select  
  
ActiveChart.ChartType = xlLine  
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries  
ActiveChart.SeriesCollection(1).Name = "=""Confiabilidad [%]""  
ActiveChart.SeriesCollection(1).Values = "=""MPMCHG'!$BE$6:$BE$26"  
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries  
ActiveChart.SeriesCollection(2).Name = "=""Numero Fallas""  
ActiveChart.SeriesCollection(2).Values = "=""MPMCHG'!$BG$6:$BG$26"  
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries  
ActiveChart.SeriesCollection(3).Name = "=""Prob Falla [%]""  
ActiveChart.SeriesCollection(3).Values = "=""MPMCHG'!$BO$6:$BO$26"  
ActiveChart.SeriesCollection(3).XValues = "=""MPMCHG'!$BC$6:$BC$26"  
ActiveChart.SeriesCollection(2).Select  
ActiveChart.SeriesCollection(2).AxisGroup = 2  
ActiveChart.SeriesCollection(2).Select  
ActiveChart.Axes(xlValue, xlSecondary).Select  
ActiveChart.SetElement (msoElementChartTitleAboveChart)  
ActiveChart.SetElement (msoElementPrimaryCategoryAxisTitleAdjacentToAxis)  
ActiveChart.SetElement (msoElementPrimaryValueAxisTitleRotated)  
ActiveChart.SetElement (msoElementSecondaryValueAxisTitleRotated)  
ActiveChart.Axes(xlValue, xlSecondary).AxisTitle.Text = "Numero Falla"  
ActiveChart.Axes(xlCategory, xlPrimary).AxisTitle.Text = "Horas Funcionamiento"  
ActiveChart.Axes(xlValue, xlPrimary).AxisTitle.Text = "Confiabilidad;Prob Falla"  
ActiveChart.ChartTitle.Text = "Mesa_Rompe_Paquete"  
ActiveChart.ChartArea.Select  
ActiveChart.ClearToMatchStyle  
ActiveChart.ChartStyle = 42  
ActiveChart.ClearToMatchStyle  
ActiveChart.SetElement (msoElementPrimaryValueGridLinesNone)  
ActiveSheet.ChartObjects  
  
End If  
End If  
End If  
End If  
End If
```

Algoritmo para Generar y Buscar Gráficos

Fuente: Software Mantenimiento

```
Sub IngresoDatos0()  
    Application.ScreenUpdating = False  
    Dim n As Long  
    If frmFormularioInterrupciones.ComboBox1.Text = "Horno_Galopante" Then  
    If frmFormularioInterrupciones.ComboBox2.Text = "Mesa_Carga" Then  
    If frmFormularioInterrupciones.ComboBox3.Text = "Mesa_Rompe_Paquete" Then  
        Hoja4.Select  
        n = 1  
        Do While (Cells(n, 1) <> Empty Or (Cells(n, 2)) <> Empty Or (Cells(n, 3)) <>  
        Empty Or (Cells(n, 4)) <> Empty Or (Cells(n, 5)) <> Empty Or (Cells(n, 6)) <>  
        Empty Or (Cells(n, 7)) <> Empty Or (Cells(n, 8)) <> Empty Or (Cells(n, 9)) <>  
        Empty Or (Cells(n, 10)) <> Empty Or (Cells(n, 11)) <> Empty Or (Cells(n, 12)) <>  
        Empty Or (Cells(n, 13)) <> Empty)  
            n = n + 1  
        Loop  
        If frmFormularioInterrupciones.ComboBox1.Text = Empty Or  
        frmFormularioInterrupciones.ComboBox2.Text = Empty Or  
        frmFormularioInterrupciones.ComboBox3.Text = Empty Or  
        frmFormularioInterrupciones.ComboBox4.Text = Empty Or  
        frmFormularioInterrupciones.textFechaInicio.Text = Empty Or  
        frmFormularioInterrupciones.textFechaTermino.Text = Empty Or  
        frmFormularioInterrupciones.textFechaActual.Text = Empty Then  
            MsgBox "Debe Ingresar Todos los Datos", vbCritical + vbOKOnly, "Alerta"  
        Else  
            Cells(n, 1).Value = frmFormularioInterrupciones.ComboBox1.Text  
            Cells(n, 3).Value = frmFormularioInterrupciones.ComboBox2.Text  
            Cells(n, 5).Value = frmFormularioInterrupciones.ComboBox3.Text  
            Cells(n, 7).Value = frmFormularioInterrupciones.ComboBox4.Text  
            Dim Fecha1 As Date  
            Fecha1 = Format("02/03/2010", "Short date")  
            Fecha1 = frmFormularioInterrupciones.textFechaActual.Text  
            Cells(3, 15) = Fecha1  
            Hoja4.Cells(3, 15).Copy  
            ActiveSheet.Paste Hoja1.Range("B11")  
            Dim Fecha2 As Date  
            Fecha2 = Format("01/01/2012 15:15:30", "Short date")  
            Fecha2 = frmFormularioInterrupciones.textFechaInicio.Text  
            Cells(n, 9).Value = Fecha2  
            Dim Fecha3 As Date  
            Fecha3 = Format("01/01/2012 15:15:30", "Short date")  
            Fecha3 = frmFormularioInterrupciones.textFechaTermino.Text  
            Cells(n, 11).Value = Fecha3  
            Cells(5, 15).Value = Fecha3  
            Cells(n, 13) = (Cells(n, 11) - Cells(n, 9))  
            Cells((n - 1), 17) = (Cells(n, 9) - Cells((n - 1), 11))  
            Cells(n, 17) = Cells(2, 15) - Cells(n, 11)  
            Cells((n - 1), 69).Value = frmFormularioInterrupciones.ComboBox5.Text  
            Cells((n - 1), 19) = (Cells((n - 1), 17) * 24 * Cells((n - 1), 69))  
            Cells(n, 19) = Cells(n, 17) * 24 * Cells((n - 1), 69)  
        End If  
    End If  
End If
```

Algoritmo para Ingresar Datos

Fuente: Software Mantenimiento

Anexo 5

Índice Criticidad Subequipos Críticos, Semi Críticos y No Críticos

Zona	Equipos	Subequipos	ECUENCIA (Falla)	TIEMPO DETENCIÓN	COSTO REPARACIÓN	IMPACTO SEGURIDAD	IMPACTO AMBIENTE	Factor Exponencia	Consecuencia	Valor financiero	Criticidad
Tren Acabador	Cizalla T3	Mecanismo de corte	6	4	5	1	1	2	43	258	Crítica
Parrilla	Cajones	Cajones	6	5	2	1	1	2	31	186	Crítica
Tren Acabador	Stand A6	Torre	3	5	5	1	1	2	52	156	Crítica
Tren Acabador	Stand A6	Stand	3	5	5	1	1	2	52	156	Crítica
Desbaste	Mesa Fija	Rodillos	3	4	5	1	1	2	43	129	Crítica
Parrilla	Carro Transferidor	Mecanismo de levante	3	5	4	1	1	2	43	129	Crítica
Empaquetado	Transferidor de barras	Cadenas	3	5	3	1	1	2	36	108	Crítica
Desbaste	Mesa Fija	Impulsor 7mo Pase	2	5	5	1	1	2	52	104	Crítica
Desbaste	Sistema Motriz	Motor	2	5	5	1	1	2	52	104	Crítica
Desbaste	Sistema Motriz	Acoplamiento motor/reductor	2	5	5	1	1	2	52	104	Crítica
Tren Acabador	Stand A5	Torre	2	5	5	1	1	2	52	104	Crítica
Tren Acabador	Stand A5	Stand	2	5	5	1	1	2	52	104	Crítica
Tren Acabador	Cizalla T3	Motor	2	5	5	1	1	2	52	104	Crítica
Empaquetado	Cizalla T4	Conjunto cizalla T4	2	5	5	1	1	2	52	104	Crítica
Desbaste	Sistema Motriz	Cardanes	2	5	5	1	1	2	52	104	Crítica
Horno	Traslacion de	Rodillos deshornamiento	2	4	5	1	1	2	43	86	Crítica
Tren Medio	Cizalla T1	Muela Superior	2	4	5	1	1	2	43	86	Crítica
Tren Medio	Cizalla T1	Impulsor T1	2	4	5	1	1	2	43	86	Crítica
Tren Medio	Stand M4	Torre	2	4	5	1	1	2	43	86	Crítica
Tren Medio	Central Hidraulica	Central Hidraulica	2	5	4	1	1	2	43	86	Crítica
Tren Acabador	Stand A1	Stand	2	4	5	1	1	2	43	86	Crítica
Tren Acabador	Stand A4	Stand	2	4	5	1	1	2	43	86	Crítica
Parrilla	Parrilla enfriamiento	Excentricas	2	5	4	1	1	2	43	86	Crítica
Empaquetado	Rodillo salida cunas	Rodillos	2	5	4	1	1	2	43	86	Crítica
Utilidades	agua directa	bomba alimentacion A5/A6	2	5	4	1	1	2	43	86	Crítica
Utilidades	agua directa	bomba pozo acumulador 1	2	5	4	1	1	2	43	86	Crítica
Horno	Traslacion de	Solera Movil	3	5	1	1	1	2	28	84	Crítica
Parrilla	Parrilla enfriamiento	Peines	3	5	1	1	1	2	28	84	Crítica
Desbaste	Salida 7mo Pase	Flap	2	3	5	1	1	2	36	72	Crítica
Tren Medio	Stand M3	Motor	2	3	5	1	1	2	36	72	Crítica
Tren Acabador	Stand A2	Torre	2	3	5	1	1	2	36	72	Crítica
Tren Acabador	Cizalla T2	Muela	2	3	5	1	1	2	36	72	Crítica
Parrilla	Parrilla enfriamiento	Motor	2	3	5	1	1	2	36	72	Crítica
Empaquetado	Cizalla T4	Lubricacion	2	3	5	1	1	2	36	72	Crítica
Empaquetado	Cizalla T4	Conjunto tope corte a	2	3	5	1	1	2	36	72	Crítica

Índice Criticidad N°1

Fuente: Software Mantenimiento

Zona	Equipos	Subequipos	ECUENCIA (Falla)	TIEMPO DETENCION	COSTO REPARACION	IMPACTO SEGURIDAD	IMPACTO AMBIENTE	Factor Exponencia	Consecuencia	Valor final	Criticidad
Empaquetado	Rodillo salida paquete	Rodillos	2	5	3	1	1	2	36	72	Crítica
Empaquetado	Transferidor de paquetes	Cadenas	2	5	3	1	1	2	36	72	Crítica
Desbaste	Salida 7mo Pase	Camino rodillos	2	4	4	1	1	2	34	68	Crítica
Parrilla	Carro Transferidor	mecanismo de traslacion	2	4	4	1	1	2	34	68	Crítica
Empaquetado	Camino rodillo salida T4	Rodillos	2	4	4	1	1	2	34	68	Crítica
Empaquetado	Tope Movil	Accionamiento	2	4	4	1	1	2	34	68	Crítica
Utilidades	Gruas	grua Inamar	1	5	4	5	1	2	67	67	Crítica
Utilidades	Gruas	grua kuly	1	5	4	5	1	2	67	67	Crítica
Tren Acabador	Cizalla T3	Canaleta de entrada	3	4	2	1	1	2	22	66	Crítica
Tren Medio	Stand M1	Convertidor	2	5	2	1	1	2	31	62	Crítica
Tren Medio	Stand M4	Convertidor	2	5	2	1	1	2	31	62	Crítica
Tren Acabador	Stand A3	Convertidor	2	5	2	1	1	2	31	62	Crítica
Tren Acabador	Stand A5	Convertidor	2	5	2	1	1	2	31	62	Crítica
Tren Acabador	Cizalla T3	Convertidor	2	5	2	1	1	2	31	62	Crítica
Parrilla	Camino de rodillos T3	Convertidor	2	5	2	1	1	2	31	62	Crítica
Parrilla	Cajones	Rodillos	2	5	2	1	1	2	31	62	Crítica
Parrilla	Cajones	Accionamiento	2	5	2	1	1	2	31	62	Crítica
Parrilla	Parrilla enfriamiento	Convertidor	2	5	2	1	1	2	31	62	Crítica
Parrilla	Cadenas formador de	Convertidor	2	5	2	1	1	2	31	62	Crítica
Utilidades	master	master	2	5	2	1	1	2	31	62	Crítica
Tren Medio	Central Lubricacion	Instrumentacion	2	5	1	1	1	2	28	56	Crítica
Horno	Mesa de Salida	Rodillos Deshornamiento	2	3	4	1	1	2	27	54	Crítica
Desbaste	Mesa Fija	Tumbadora	2	3	4	1	1	2	27	54	Crítica
Desbaste	Mesa Basculante	Central Hidraulica	2	4	3	1	1	2	27	54	Crítica
Desbaste	Mesa Basculante	Rodillos	2	3	4	1	1	2	27	54	Crítica
Tren Medio	Virador	Accionamiento	2	4	3	1	1	2	27	54	Crítica
Tren Acabador	Formador de lazo A5-A6	Accionamiento	2	3	4	1	1	2	27	54	Crítica
Tren Acabador	Cizalla T3	Flap	2	3	4	1	1	2	27	54	Crítica
Empaquetado	Transferidor de barras	Levante	2	3	4	1	1	2	27	54	Crítica
Empaquetado	Formador de paquetes	Cunas	2	4	3	1	1	2	27	54	Crítica
Horno	Refractario del horno	Instrumentacion	1	5	5	1	1	2	52	52	Crítica
Horno	Sistema hidraulico	Piston de Levante	1	5	5	1	1	2	52	52	Crítica
Desbaste	Sistema Motriz	Reductor	1	5	5	1	1	2	52	52	Crítica
Desbaste	Sistema Motriz	Acoplamiento Reductor/Trio	1	5	5	1	1	2	52	52	Crítica
Tren Medio	Cizalla T1	Reductor	1	5	5	1	1	2	52	52	Crítica

Índice Criticidad N°2

Fuente: Software Mantenimiento

Zona	Equipos	Subequipos	ECUENCIA (Falla)	TIEMPO DETENCION	COSTO REPARACION	IMPACTO SEGURIDAD	IMPACTO AMBIENTE	Factor Exponencia	Consecuencia	Valor final	Criticidad
Tren Medio	Stand M1	Reductor	1	5	5	1	1	2	52	52	Crítica
Tren Medio	Stand M1	Torre	1	5	5	1	1	2	52	52	Crítica
Tren Medio	Stand M1	Stand	1	5	5	1	1	2	52	52	Crítica
Tren Medio	Stand M2	Reductor	1	5	5	1	1	2	52	52	Crítica
Tren Medio	Stand M3	Reductor	1	5	5	1	1	2	52	52	Crítica
Tren Medio	Stand M4	Reductor	1	5	5	1	1	2	52	52	Crítica
Tren Medio	Stand M4	Stand	1	5	5	1	1	2	52	52	Crítica
Tren Acabador	Stand A1	Reductor	1	5	5	1	1	2	52	52	Crítica
Tren Acabador	Stand A1	Cardanes	1	5	5	1	1	2	52	52	Crítica
Tren Acabador	Stand A1	Torre	1	5	5	1	1	2	52	52	Crítica
Tren Acabador	Stand A2	Reductor	1	5	5	1	1	2	52	52	Crítica
Tren Acabador	Stand A3	Reductor	1	5	5	1	1	2	52	52	Crítica
Tren Acabador	Stand A4	Reductor	1	5	5	1	1	2	52	52	Crítica
Tren Acabador	Stand A4	Torre	1	5	5	1	1	2	52	52	Crítica
Tren Acabador	Stand A5	Reductor	1	5	5	1	1	2	52	52	Crítica
Tren Acabador	Stand A6	Reductor	1	5	5	1	1	2	52	52	Crítica
Tren Acabador	Stand A6	Cardanes	1	5	5	1	1	2	52	52	Crítica
Tren Acabador	Cizalla T3	Lubricacion Automatica	1	5	5	1	1	2	52	52	Crítica
Parrilla	Parrilla enfriamiento	Reductor	1	5	5	1	1	2	52	52	Crítica
Utilidades	Gruas	instrumentacion	1	5	1	5	1	2	52	52	Crítica
Tren Acabador	Formador de lazo A3-A4	Accionamiento	2	2	4	1	1	2	22	44	Semi Crítica
Tren Acabador	Stand A6	Refrigeracion	2	4	2	1	1	2	22	44	Semi Crítica
Parrilla	Parrilla enfriamiento	Rodillos alineadores	2	4	2	1	1	2	22	44	Semi Crítica
Horno	Sistema hidraulico	Piston de Traslacion	1	5	4	1	1	2	43	43	Semi Crítica
Horno	Sistema de fuerza	Bombas hidraulicas	1	5	4	1	1	2	43	43	Semi Crítica
Tren Medio	Stand M2	Stand	1	4	5	1	1	2	43	43	Semi Crítica
Tren Medio	Stand M4	Cardanes	1	4	5	1	1	2	43	43	Semi Crítica
Tren Acabador	Cizalla T2	Caja de piñones	1	4	5	1	1	2	43	43	Semi Crítica
Tren Acabador	Formador de lazo A4-A5	Rotosonda	1	5	4	1	1	2	43	43	Semi Crítica
Tren Acabador	Cizalla T3	Caja de piñones	1	4	5	1	1	2	43	43	Semi Crítica
Parrilla	Cajones	Central Hidraulica	1	4	5	1	1	2	43	43	Semi Crítica
Empaquetado	Bascula pesaje final	Bascula	1	4	5	1	1	2	43	43	Semi Crítica
Utilidades	agua directa	bomba pozo acumulador 2	1	5	4	1	1	2	43	43	Semi Crítica
Tren Acabador	Formador de lazo A3-A4	Rotosonda	1	5	4	1	1	2	43	43	Semi Crítica
Tren Acabador	Formador de lazo A5-A6	Rotosonda	1	5	4	1	1	2	43	43	Semi Crítica

Índice Criticidad N°3

Fuente: Software Mantenimiento

Zona	Equipos	Subequipos	ECUENCIA (Falla)	TIEMPO DETENCION	COSTO REPARACION	IMPACTO SEGURIDAD	IMPACTO AMBIENTAL	Factor Exponencia	Consecuencia	Valor final	Criticidad
Horno	Estructura del horno	Puerta Enhornamiento	2	3	3	1	1	2	20	40	Semi Crítica
Empaquetado	Mesa evacuacion	Cadenas	2	3	3	1	1	2	20	40	Semi Crítica
Horno	Mesa de Carga	Instrumentacion	2	4	1	1	1	2	19	38	Semi Crítica
Horno	Sistema de control	Gabinete del PLC	2	4	1	1	1	2	19	38	Semi Crítica
Horno	Mesa de Salida	Transferidor	2	4	1	1	1	2	19	38	Semi Crítica
Tren Medio	Virador	Instrumentacion	2	4	1	1	1	2	19	38	Semi Crítica
Parrilla	Camino de rodillos T3	Rodillos	2	4	1	1	1	2	19	38	Semi Crítica
Parrilla	Cadenas formador de	Cadena	2	4	1	1	1	2	19	38	Semi Crítica
Horno	Refractario del horno	Refractario boveda	1	3	5	1	1	2	36	36	Semi Crítica
Tren Medio	Cizalla T1	Motor	1	3	5	1	1	2	36	36	Semi Crítica
Tren Medio	Cizalla T1	Caja de piñones	1	3	5	1	1	2	36	36	Semi Crítica
Tren Medio	Stand M1	Motor	1	3	5	1	1	2	36	36	Semi Crítica
Tren Medio	Stand M1	Cilindros	1	3	5	1	1	2	36	36	Semi Crítica
Tren Medio	Stand M2	Motor	1	3	5	1	1	2	36	36	Semi Crítica
Tren Medio	Stand M3	Stand	1	3	5	1	1	2	36	36	Semi Crítica
Tren Medio	Stand M4	Motor	1	3	5	1	1	2	36	36	Semi Crítica
Tren Acabador	Stand A1	motor	1	3	5	1	1	2	36	36	Semi Crítica
Tren Acabador	Cizalla T2	Motor	1	3	5	1	1	2	36	36	Semi Crítica
Tren Acabador	Stand A3	Stand	1	3	5	1	1	2	36	36	Semi Crítica
Tren Acabador	Stand A4	Motor	1	3	5	1	1	2	36	36	Semi Crítica
Tren Acabador	Stand A5	Motor	1	3	5	1	1	2	36	36	Semi Crítica
Tren Acabador	Stand A5	Cardanes	1	3	5	1	1	2	36	36	Semi Crítica
Utilidades	agua directa	bomba alimentacion 1	1	5	3	1	1	2	36	36	Semi Crítica
Utilidades	agua directa	bomba alimentacion 2	1	5	3	1	1	2	36	36	Semi Crítica
Horno	Sistema de combustion	Circuito gas	2	2	2	3	1	2	18	36	Semi Crítica
Empaquetado	Cizalla T4	Instrumentacion	3	3	1	1	1	2	12	36	Semi Crítica
Empaquetado	Camino de rodillos	Rodillos	1	4	4	1	1	2	34	34	Semi Crítica
Empaquetado	Transferidor de paquetes	Levante	1	4	4	1	1	2	34	34	Semi Crítica
Tren Medio	Cizalla T1	Convertidor	1	5	2	1	1	2	31	31	Semi Crítica
Tren Medio	Stand M2	Convertidor	1	5	2	1	1	2	31	31	Semi Crítica
Tren Medio	Stand M3	Convertidor	1	5	2	1	1	2	31	31	Semi Crítica
Tren Medio	Stand M3	Torre	1	2	5	1	1	2	31	31	Semi Crítica
Tren Acabador	Stand A1	Convertidor	1	5	2	1	1	2	31	31	Semi Crítica
Tren Acabador	Stand A2	Convertidor	1	5	2	1	1	2	31	31	Semi Crítica
Tren Acabador	Stand A2	Cardanes	1	2	5	1	1	2	31	31	Semi Crítica

Índice Criticidad N°4

Fuente: Software Mantenimiento

Zona	Equipos	Subequipos	ECUENCIA (Falla)	TIEMPO DETENCION	COSTO REPARACION	IMPACTO SEGURIDAD	IMPACTO AMBIENTE	Factor Exponencia	Consecuencia	Valor final	Criticidad
Tren Acabador	Cizalla T2	Flap	1	2	5	1	1	2	31	31	Semi Crítica
Tren Acabador	Cizalla T2	Instrumentacion	1	2	5	1	1	2	31	31	Semi Crítica
Tren Acabador	Cizalla T2	convertidor	1	5	2	1	1	2	31	31	Semi Crítica
Tren Acabador	Stand A3	Motor	1	2	5	1	1	2	31	31	Semi Crítica
Tren Acabador	Stand A4	Convertidor	1	5	2	1	1	2	31	31	Semi Crítica
Tren Acabador	Stand A4	Refrigeracion	1	5	2	1	1	2	31	31	Semi Crítica
Tren Acabador	Stand A6	Convertidor	1	5	2	1	1	2	31	31	Semi Crítica
Parrilla	Cajones	Convertidor	1	5	2	1	1	2	31	31	Semi Crítica
Parrilla	Carro Transferidor	Convertidor	1	5	2	1	1	2	31	31	Semi Crítica
Empaquetado	Caminos de rodillos	Convertidor	1	5	2	1	1	2	31	31	Semi Crítica
Horno	Mesa de Carga	Mesa galopante	2	2	3	1	1	2	15	30	Semi Crítica
Desbaste	Mesa Basculante	Accionamiento	2	3	2	1	1	2	15	30	Semi Crítica
Parrilla	Parrilla enfriamiento	Cajon Fijo	2	2	3	1	1	2	15	30	Semi Crítica
Utilidades	compresores	compresor	2	3	2	1	1	2	15	30	Semi Crítica
Horno	Refractario del horno	Refractario soleras	1	1	5	1	1	2	28	28	Semi Crítica
Horno	Refractario del horno	Refractarios muros	1	1	5	1	1	2	28	28	Semi Crítica
Horno	Refractario del horno	Refractarios ductos	1	1	5	1	1	2	28	28	Semi Crítica
Horno	Refractario del horno	Refractario chimenea	1	1	5	1	1	2	28	28	Semi Crítica
Horno	Traslacion de	Rodillos enhornamiento	1	1	5	1	1	2	28	28	Semi Crítica
Horno	Traslacion de	Tope fijo palanquillas	1	1	5	1	1	2	28	28	Semi Crítica
Horno	Sistema hidraulico	Banco de valvulas galopante	1	1	5	1	1	2	28	28	Semi Crítica
Horno	Sistema hidraulico	Banco de valvulas,	1	1	5	1	1	2	28	28	Semi Crítica
Desbaste	Sistema Motriz	Trio	1	1	5	1	1	2	28	28	Semi Crítica
Desbaste	Stand	Regulacion superior	1	1	5	1	1	2	28	28	Semi Crítica
Desbaste	Stand	Regulacion inferior	1	1	5	1	1	2	28	28	Semi Crítica
Tren Medio	Stand M1	Cardanes	1	1	5	1	1	2	28	28	Semi Crítica
Tren Medio	Stand M2	Cardanes	1	1	5	1	1	2	28	28	Semi Crítica
Tren Medio	Stand M2	Torre	1	1	5	1	1	2	28	28	Semi Crítica
Tren Medio	Stand M2	Cilindros	1	1	5	1	1	2	28	28	Semi Crítica
Tren Medio	Stand M3	Cardanes	1	1	5	1	1	2	28	28	Semi Crítica
Tren Acabador	Stand A2	Motor	1	1	5	1	1	2	28	28	Semi Crítica
Tren Acabador	Stand A2	Stand	1	1	5	1	1	2	28	28	Semi Crítica
Tren Acabador	Cizalla T2	Accionamiento	1	1	5	1	1	2	28	28	Semi Crítica
Tren Acabador	Cizalla T2	Desviador	1	1	5	1	1	2	28	28	Semi Crítica
Tren Acabador	Stand A3	Cardanes	1	1	5	1	1	2	28	28	Semi Crítica

Índice Criticidad N°5

Fuente: Software Mantenimiento

Zona	Equipos	Subequipos	ECUENCIA (Falla)	TIEMPO DETENCIÓN	COSTO REPARACIÓN	IMPACTO SEGURIDAD	IMPACTO AMBIENTE	Factor Exponencia	Consecuencia	Valor financiero	Criticidad
Tren Acabador	Stand A3	Torre	1	1	5	1	1	2	28	28	Semi Crítica
Tren Acabador	Stand A3	Traslacion	1	5	1	1	1	2	28	28	Semi Crítica
Tren Acabador	Stand A4	Cardanes	1	1	5	1	1	2	28	28	Semi Crítica
Tren Acabador	Stand A4	Cilindros	1	1	5	1	1	2	28	28	Semi Crítica
Tren Acabador	Stand A5	Cilindros	1	1	5	1	1	2	28	28	Semi Crítica
Tren Acabador	Stand A6	Motor	1	1	5	1	1	2	28	28	Semi Crítica
Empaquetado	Cizalla T4	Dispositivos	1	1	5	1	1	2	28	28	Semi Crítica
Utilidades	Subestaciones	subestacion planta	1	1	5	1	1	2	28	28	Semi Crítica
Utilidades	Subestaciones	subestacion laminacion	1	1	5	1	1	2	28	28	Semi Crítica
Utilidades	Informatica	comunicacion	1	1	5	1	1	2	28	28	Semi Crítica
Subestacion Ele	Gala Electrica Laminacion	Tablero + RMC.1	1	1	5	1	1	2	28	28	Semi Crítica
Subestacion Ele	Gala Electrica Laminacion	Tablero + RMC.2	1	1	5	1	1	2	28	28	Semi Crítica
Subestacion Ele	Gala Electrica Laminacion	Tablero + RMC.3	1	1	5	1	1	2	28	28	Semi Crítica
Subestacion Ele	Gala Electrica Laminacion	TA8 CAJA M1	1	1	5	1	1	2	28	28	Semi Crítica
Subestacion Ele	Gala Electrica Laminacion	TA9 Caja M2	1	1	5	1	1	2	28	28	Semi Crítica
Subestacion Ele	Gala Electrica Laminacion	TA10 Caja M3	1	1	5	1	1	2	28	28	Semi Crítica
Subestacion Ele	Gala Electrica Laminacion	TA11 Caja M4	1	1	5	1	1	2	28	28	Semi Crítica
Subestacion Ele	Gala Electrica Laminacion	TA1 Caja A1	1	1	5	1	1	2	28	28	Semi Crítica
Subestacion Ele	Gala Electrica Laminacion	TA2 caja A2	1	1	5	1	1	2	28	28	Semi Crítica
Subestacion Ele	Gala Electrica Laminacion	TA3 Caja A3	1	1	5	1	1	2	28	28	Semi Crítica
Subestacion Ele	Gala Electrica Laminacion	TA4 Caja A4	1	1	5	1	1	2	28	28	Semi Crítica
Subestacion Ele	Gala Electrica Laminacion	TA5 Caja A5	1	1	5	1	1	2	28	28	Semi Crítica
Subestacion Ele	Gala Electrica Laminacion	TA6 Caja A6	1	1	5	1	1	2	28	28	Semi Crítica
Subestacion Ele	Gala Electrica Laminacion	TB14 Cizalla T1	1	1	5	1	1	2	28	28	Semi Crítica
Subestacion Ele	Gala Electrica Laminacion	TB13 Cizalla T2	1	1	5	1	1	2	28	28	Semi Crítica
Subestacion Ele	Gala Electrica Laminacion	TB15 Alimentacion auxiliares	1	1	5	1	1	2	28	28	Semi Crítica
Subestacion Ele	Gala Electrica Laminacion	TB16 Camino de Rodillos	1	1	5	1	1	2	28	28	Semi Crítica
Subestacion Ele	Gala Electrica Laminacion	camino de rodillos Salida Sec	1	1	5	1	1	2	28	28	Semi Crítica
Subestacion Ele	Gala Electrica Laminacion	TB18 Cizalla T3	1	1	5	1	1	2	28	28	Semi Crítica
Subestacion Ele	Gala Electrica Laminacion	Parrilla	1	1	5	1	1	2	28	28	Semi Crítica
Subestacion Ele	Gala Electrica Laminacion	23 camino de rodillos entrada	1	1	5	1	1	2	28	28	Semi Crítica
Subestacion Ele	Gala Electrica Laminacion	TB20 Cadenas	1	1	5	1	1	2	28	28	Semi Crítica
Subestacion Ele	Gala Electrica Laminacion	KC.1 Distribucion de tensiones	1	1	5	1	1	2	28	28	Semi Crítica
Subestacion Ele	Gala Electrica Laminacion	STB1 Caja Guardamotor	1	1	5	1	1	2	28	28	Semi Crítica
Subestacion Ele	Gala Electrica Laminacion	STB2 Caja Guardamotor	1	1	5	1	1	2	28	28	Semi Crítica

Índice Criticidad N°6

Fuente: Software Mantenimiento

Zona	Equipos	Subequipos	ECUENCIA (Falla)	TIEMPO DETENCION	COSTO REPARACION	IMPACTO SEGURIDAD	IMPACTO AMBIENTE	Factor Exponencia	Consecuencia	Valor final	Criticidad
Estacion Ele	Gala Electrica Laminacion	STB3 Caja Guardamotor	1	1	5	1	1	2	28	28	Semi Critica
Estacion Ele	Gala Electrica Laminacion	STB4 Caja Guardamotor	1	1	5	1	1	2	28	28	Semi Critica
Estacion Ele	Gala Electrica Laminacion	Condensador	1	1	5	1	1	2	28	28	Semi Critica
Estacion Ele	Gala Electrica Laminacion	PP1 Pulpito Principal	1	1	5	1	1	2	28	28	Semi Critica
Estacion Ele	Gala Electrica Laminacion	PP2 Pulpito 2	1	1	5	1	1	2	28	28	Semi Critica
Estacion Ele	Gala Electrica Laminacion	PP3 Pulpito 3	1	1	5	1	1	2	28	28	Semi Critica
Estacion Ele	Gala Electrica Laminacion	PP4 Pulpito 4	1	1	5	1	1	2	28	28	Semi Critica
Desbaste	Central Lubricacion	Sistema de Bombeo	1	4	3	1	1	2	27	27	No critica
Tren Medio	Central Lubricacion	Sistema de bombeo	1	3	4	1	1	2	27	27	No critica
Tren Acabador	Formador de lazo A4-A5	Accionamiento	1	3	4	1	1	2	27	27	No critica
Empaquetado	Formador de paquetes	Brazo	1	3	4	1	1	2	27	27	No critica
Empaquetado	Formador de paquetes	Central hidraulica	1	4	3	1	1	2	27	27	No critica
Utilidades	agua directa	bomba alimentacion 4	1	4	3	1	1	2	27	27	No critica
Tren Acabador	Cizalla T3	Instrumentacion	2	3	1	1	1	2	12	24	No critica
Parrilla	Cajones	Instrumentacion	2	3	1	1	1	2	12	24	No critica
Empaquetado	Tope Movil	Instrumentacion	2	3	1	1	1	2	12	24	No critica
Desbaste	Stand	Guia Salida	1	2	4	1	1	2	22	22	No critica
Desbaste	Stand	Refrigeracion	1	4	2	1	1	2	22	22	No critica
Tren Medio	Snap M2-M3	Snap M2-M3	1	2	4	1	1	2	22	22	No critica
Tren Acabador	Central Hidraulica	Central Hidraulica	1	4	2	1	1	2	22	22	No critica
Utilidades	agua directa	bomba pozo acumulador 3	1	2	4	1	1	2	22	22	No critica
Horno	Sistema de combustion	Circuito diesel	1	1	3	3	1	2	20	20	No critica
Tren Acabador	Formador de lazo A3-A4	Snap	1	3	3	1	1	2	20	20	No critica
Tren Acabador	Formador de lazo A4-A5	Snap	1	3	3	1	1	2	20	20	No critica
Tren Acabador	Formador de lazo A5-A6	Snap	1	3	3	1	1	2	20	20	No critica
Horno	Sistema de combustion	Quemadores	1	1	4	1	1	2	19	19	No critica
Horno	Sistema hidraulico	Acometida a grupo de	1	1	4	1	1	2	19	19	No critica
Horno	Sistema de fuerza	Ventiladores	1	1	4	1	1	2	19	19	No critica
Horno	Sistema de fuerza	Auxiliares	1	1	4	1	1	2	19	19	No critica
Horno	Sistema de fuerza	Enhornamiento	1	1	4	1	1	2	19	19	No critica
Horno	Sistema de fuerza	Deshornamiento	1	1	4	1	1	2	19	19	No critica
Horno	Sistema de fuerza	Instrumentacion	1	1	4	1	1	2	19	19	No critica
Desbaste	Stand	Soportes	1	1	4	1	1	2	19	19	No critica
Desbaste	Stand	Guia entrada	1	1	4	1	1	2	19	19	No critica
Tren Medio	Stand M1	Guia de entrada	1	1	4	1	1	2	19	19	No critica

Índice Criticidad N°7

Fuente: Software Mantenimiento

Zona	Equipos	Subequipos	ECUENCIA (Falla)	TIEMPO DETENCION	COSTO REPARACION	IMPACTO SEGURIDAD	IMPACTO AMBIENTE	Factor Exponencia	Consecuencia	Valor final	Criticidad
Tren Medio	Stand M1	Guia de Salida	1	1	4	1	1	2	19	19	No critica
Tren Medio	Stand M2	Guia de entrada	1	1	4	1	1	2	19	19	No critica
Tren Medio	Stand M2	Guia de Salida	1	1	4	1	1	2	19	19	No critica
Tren Medio	Stand M3	Guia de entrada	1	1	4	1	1	2	19	19	No critica
Tren Medio	Stand M3	Guia de Salida	1	1	4	1	1	2	19	19	No critica
Tren Medio	Stand M4	Guia de entrada	1	1	4	1	1	2	19	19	No critica
Tren Medio	Stand M4	Guia de Salida	1	1	4	1	1	2	19	19	No critica
Tren Acabador	Stand A1	Guia de entrada	1	1	4	1	1	2	19	19	No critica
Tren Acabador	Stand A1	Guia de salida	1	1	4	1	1	2	19	19	No critica
Tren Acabador	Stand A2	Guia de entrada	1	1	4	1	1	2	19	19	No critica
Tren Acabador	Stand A2	Guia salida	1	1	4	1	1	2	19	19	No critica
Tren Acabador	Central de lubricacion	Sistema de bombeo	1	1	4	1	1	2	19	19	No critica
Tren Acabador	Stand A3	Guia de entrada	1	1	4	1	1	2	19	19	No critica
Tren Acabador	Stand A3	Guia de salida	1	1	4	1	1	2	19	19	No critica
Tren Acabador	Central de lubricacion	Sistema de bombeo	1	1	4	1	1	2	19	19	No critica
Tren Acabador	Stand A4	Guia de entrada	1	1	4	1	1	2	19	19	No critica
Tren Acabador	Stand A4	Guia de Salida	1	1	4	1	1	2	19	19	No critica
Tren Acabador	Stand A5	Guia de entrada	1	1	4	1	1	2	19	19	No critica
Tren Acabador	Stand A5	Guia de Salida	1	1	4	1	1	2	19	19	No critica
Tren Acabador	Central de lubricacion	Sistema de bombeo	1	1	4	1	1	2	19	19	No critica
Tren Acabador	Stand A6	Guia de entrada	1	1	4	1	1	2	19	19	No critica
Tren Acabador	Stand A6	Guia de salida	1	1	4	1	1	2	19	19	No critica
Parrilla	Electronica	PLC	1	1	4	1	1	2	19	19	No critica
Empaquetado	Cizalla T4	Camino de rodillo de entrada	1	1	4	1	1	2	19	19	No critica
Empaquetado	Cizalla T4	Sistema hidraulico	1	1	4	1	1	2	19	19	No critica
Empaquetado	Cizalla T4	Sistema neumatico	1	1	4	1	1	2	19	19	No critica
Utilidades	agua directa	torres de enfriamiento	1	1	4	1	1	2	19	19	No critica
Utilidades	agua directa	filtro 250	1	1	4	1	1	2	19	19	No critica
Utilidades	agua directa	bomba pozo acumulador 4	1	1	4	1	1	2	19	19	No critica
Utilidades	Agua indirecta	torres de enfriamiento	1	1	4	1	1	2	19	19	No critica
Utilidades	Agua indirecta	filtro 180	1	1	4	1	1	2	19	19	No critica
Tren Medio	Stand M4	Refrigeracion	1	3	2	1	1	2	15	15	No critica
Tren Acabador	Stand A1	Refrigeracion	1	3	2	1	1	2	15	15	No critica
Tren Acabador	Stand A2	Refrigeracion	1	3	2	1	1	2	15	15	No critica
Tren Acabador	Stand A6	Stand falso	1	3	2	1	1	2	15	15	No critica

Índice Criticidad N°8

Fuente: Software Mantenimiento

Zona	Equipos	Subequipos	ECUENCIA (Falla)	TIEMPO DETENCION	COSTO REPARACION	IMPACTO SEGURIDAD	IMPACTO AMBIENTE	Factor Exponencia	Consecuencia	Valor final	Criticidad
Tren Acabador	Cizalla T3	Desviador	1	3	2	1	1	2	15	15	No crítica
Empaquetado	Transferidor de barras	Estructura	1	3	2	1	1	2	15	15	No crítica
Utilidades	agua directa	red	1	3	2	1	1	2	15	15	No crítica
Horno	Sistema de control	Accionamientos	2	2	1	1	1	2	7	14	No crítica
Desbaste	Stand	Instrumentacion	2	2	1	1	1	2	7	14	No crítica
Horno	Camino de rodillos de	Rodillo tipo A	1	1	3	1	1	2	12	12	No crítica
Horno	Camino de rodillos de	Rodillo tipo B	1	1	3	1	1	2	12	12	No crítica
Horno	Estructura del horno	Puerta de deshornamiento	1	1	3	1	1	2	12	12	No crítica
Horno	Refrigeracion horno	Bombas de achique	1	1	3	1	1	2	12	12	No crítica
Tren Medio	Stand M3	Traslacion	1	3	1	1	1	2	12	12	No crítica
Tren Medio	Virador	Traslacion	1	1	3	1	1	2	12	12	No crítica
Tren Acabador	Central de lubricacion	Instrumentacion	1	3	1	1	1	2	12	12	No crítica
Tren Acabador	Central Hidraulica	Instrumentacion	1	3	1	1	1	2	12	12	No crítica
Tren Acabador	Stand A5	Traslacion	1	3	1	1	1	2	12	12	No crítica
Parrilla	Camino de rodillos T3	Estructura	1	3	1	1	1	2	12	12	No crítica
Empaquetado	Transferidor de barras	Rodillos Alineadores	1	1	3	1	1	2	12	12	No crítica
Utilidades	agua directa	bomba alimentacion 3	1	1	3	1	1	2	12	12	No crítica
Utilidades	agua directa	bomba de agua a filtrar	1	1	3	1	1	2	12	12	No crítica
Utilidades	agua directa	instrumentacion	1	3	1	1	1	2	12	12	No crítica
Utilidades	Agua indirecta	bomba agua de recirculacion	1	1	3	1	1	2	12	12	No crítica
Utilidades	Agua indirecta	bomba de alimentacion	1	1	3	1	1	2	12	12	No crítica
Utilidades	Agua indirecta	bomba agua de retorno achique	1	1	3	1	1	2	12	12	No crítica
Tren Acabador	Stand A5	Refrigeracion	1	2	2	1	1	2	10	10	No crítica
Parrilla	Cadenas formador de	Motoreductor	1	2	2	1	1	2	10	10	No crítica
Empaquetado	Rodillo salida cunas	Estructura	1	2	2	1	1	2	10	10	No crítica
Horno	Mesa de Carga	Mesa rompe paquete	3	1	1	1	1	2	3	9	No crítica
Horno	Sistema de combustion	Circuito aire caliente	1	1	2	1	1	2	7	7	No crítica
Horno	Sistema de combustion	Circuito aire frio	1	1	2	1	1	2	7	7	No crítica
Horno	Sistema de combustion	Recuperador de calor	1	1	2	1	1	2	7	7	No crítica
Horno	Sistema de combustion	Circuito gas y aire bajada a	1	1	2	1	1	2	7	7	No crítica
Horno	Sistema de combustion	Circuito aire dilucion	1	1	2	1	1	2	7	7	No crítica
Horno	Sistema de combustion	Circuitos aire comprimido	1	1	2	1	1	2	7	7	No crítica
Desbaste	Central Lubricacion	Instrumentacion	1	2	1	1	1	2	7	7	No crítica
Tren Medio	Cizalla T1	Instrumentacion	1	2	1	1	1	2	7	7	No crítica
Tren Medio	Stand M1	Refrigeracion	1	1	2	1	1	2	7	7	No crítica

Índice Criticidad N°9

Fuente: Software Mantenimiento

Zona	Equipos	Subequipos	ECUENCIA (Falla)	TIEMPO DETENCION	COSTO REPARACION	IMPACTO SEGURIDAD	IMPACTO AMBIENTE	Factor Exponenc	Consecuencia	Valor final	Criticidad
Tren Medio	Stand M1	Stand Falso	1	1	2	1	1	2	7	7	No critica
Tren Medio	Stand M2	Refrigeracion	1	1	2	1	1	2	7	7	No critica
Tren Medio	Stand M2	Stand Falso	1	1	2	1	1	2	7	7	No critica
Tren Medio	Stand M3	Refrigeracion	1	1	2	1	1	2	7	7	No critica
Tren Medio	Stand M3	Stand Falso	1	1	2	1	1	2	7	7	No critica
Tren Medio	Central Hidraulica	Instrumentacion	1	2	1	1	1	2	7	7	No critica
Tren Acabador	Stand A1	Traslacion	1	2	1	1	1	2	7	7	No critica
Tren Acabador	Stand A1	Stand falso	1	1	2	1	1	2	7	7	No critica
Tren Acabador	Stand A2	Stand Falso	1	1	2	1	1	2	7	7	No critica
Tren Acabador	Stand A3	Refrigeracion	1	1	2	1	1	2	7	7	No critica
Tren Acabador	Stand A3	Stand Falso	1	1	2	1	1	2	7	7	No critica
Tren Acabador	Stand A4	Stand falso	1	1	2	1	1	2	7	7	No critica
Tren Acabador	Stand A5	Stand falso	1	1	2	1	1	2	7	7	No critica
Tren Acabador	Stand A6	Traslacion	1	2	1	1	1	2	7	7	No critica
Empaquetado	Formador de paquetes	instrumentacion	1	2	1	1	1	2	7	7	No critica
Empaquetado	Enzunchado	Enzunchadora	1	1	2	1	1	2	7	7	No critica
Empaquetado	Rodillo salida paquete	Estructura	1	1	2	1	1	2	7	7	No critica
Empaquetado	Transferidor de paquetes	Estructura	1	1	2	1	1	2	7	7	No critica
Empaquetado	Transferidor de paquetes	Instrumentacion	1	2	1	1	1	2	7	7	No critica
Empaquetado	Mesa evacuacion	Estructura	1	1	2	1	1	2	7	7	No critica
Empaquetado	Evacuacion de paquetes	Pulpito de control	1	1	2	1	1	2	7	7	No critica
Utilidades	Agua indirecta	red	1	1	2	1	1	2	7	7	No critica
Horno	Camino de rodillos de	Estructura	1	1	1	1	1	2	4	4	No critica
Horno	Camino de rodillos de	Instrumentacion	1	1	1	1	1	2	4	4	No critica
Horno	Estructura del horno	Carcaza del horno	1	1	1	1	1	2	4	4	No critica
Horno	Estructura del horno	Cuba humeda y seca	1	1	1	1	1	2	4	4	No critica
Horno	Estructura del horno	Cuchillas fijas	1	1	1	1	1	2	4	4	No critica
Horno	Estructura del horno	Cuchillas moviles, Cuchilla	1	1	1	1	1	2	4	4	No critica
Horno	Estructura del horno	Cuba enhornamiento, cuba	1	1	1	1	1	2	4	4	No critica
Horno	Estructura del horno	Tolva recogida cascarilla	1	1	1	1	1	2	4	4	No critica
Horno	Estructura del horno	Tolva recogida cascarilla en	1	1	1	1	1	2	4	4	No critica
Horno	Estructura del horno	Soleras fijas	1	1	1	1	1	2	4	4	No critica
Horno	Estructura del horno	Instrumentacion	1	1	1	1	1	2	4	4	No critica
Horno	Fundaciones	Estructura fundaciones	1	1	1	1	1	2	4	4	No critica
Horno	Traslacion de	Accionamiento	1	1	1	1	1	2	4	4	No critica

Índice Criticidad N°10

Fuente: Software Mantenimiento

Zona	Equipos	Subequipos	ECUENCIA (Falla)	TIEMPO DETENCIÓN	COSTO REPARACIÓN	IMPACTO SEGURIDAD	IMPACTO AMBIENTE	Factor Exponencia	Consecuencia	Valor final	Criticidad
Horno	Traslacion de	Instrumentacion	1	1	1	1	1	2	4	4	No crítica
Horno	Sistema de combustion	Instrumentacion	1	1	1	1	1	2	4	4	No crítica
Horno	Sistema salida de gases	Accesorios	1	1	1	1	1	2	4	4	No crítica
Horno	Sistema salida de gases	Tiro inducido	1	1	1	1	1	2	4	4	No crítica
Horno	Sistema salida de gases	Ventilador de inductor	1	1	1	1	1	2	4	4	No crítica
Horno	Sistema salida de gases	Multivibratorios	1	1	1	1	1	2	4	4	No crítica
Horno	Sistema salida de gases	Tubos	1	1	1	1	1	2	4	4	No crítica
Horno	Sistema salida de gases	Colector aire dilucion	1	1	1	1	1	2	4	4	No crítica
Horno	Sistema salida de gases	Valvula regulacion de tiro	1	1	1	1	1	2	4	4	No crítica
Horno	Sistema salida de gases	Accionamiento	1	1	1	1	1	2	4	4	No crítica
Horno	Sistema salida de gases	Instrumentacion	1	1	1	1	1	2	4	4	No crítica
Horno	Refrigeracion horno	Accesorios	1	1	1	1	1	2	4	4	No crítica
Horno	Refrigeracion horno	Instrumentacion	1	1	1	1	1	2	4	4	No crítica
Horno	Sistema hidraulico	Accesorios	1	1	1	1	1	2	4	4	No crítica
Horno	Sistema hidraulico	Instrumentacion	1	1	1	1	1	2	4	4	No crítica
Horno	Sistema de control	Sistema combustion	1	1	1	1	1	2	4	4	No crítica
Horno	Sistema de control	HMI	1	1	1	1	1	2	4	4	No crítica
Horno	Sistema de control	Panel TDF1	1	1	1	1	1	2	4	4	No crítica
Horno	Mesa de Salida	Estructura	1	1	1	1	1	2	4	4	No crítica
Horno	Mesa de Salida	tornillo sin fin	1	1	1	1	1	2	4	4	No crítica
Horno	Mesa de Salida	Cinta Transportadora	1	1	1	1	1	2	4	4	No crítica
Horno	Mesa de Salida	Instrumentacion	1	1	1	1	1	2	4	4	No crítica
Desbaste	Mesa Fija	Instrumentacion	1	1	1	1	1	2	4	4	No crítica
Desbaste	Sistema Motriz	Instrumentacion	1	1	1	1	1	2	4	4	No crítica
Desbaste	Stand	Barron entrada	1	1	1	1	1	2	4	4	No crítica
Desbaste	Stand	Barron Salida	1	1	1	1	1	2	4	4	No crítica
Desbaste	Mesa Basculante	Instrumentacion	1	1	1	1	1	2	4	4	No crítica
Desbaste	Salida 7mo Pase	Instrumentacion	1	1	1	1	1	2	4	4	No crítica
Desbaste	Salida 5to Pase	Instrumentacion	1	1	1	1	1	2	4	4	No crítica
Desbaste	Salida 3er Pase	Instrumentacion	1	1	1	1	1	2	4	4	No crítica
Tren Medio	Stand M1	Barron entrada	1	1	1	1	1	2	4	4	No crítica
Tren Medio	Stand M1	Barron Salida	1	1	1	1	1	2	4	4	No crítica
Tren Medio	Stand M1	Traslacion	1	1	1	1	1	2	4	4	No crítica
Tren Medio	Stand M1	Instrumentacion	1	1	1	1	1	2	4	4	No crítica
Tren Medio	Stand M2	Barron entrada	1	1	1	1	1	2	4	4	No crítica

Índice Criticidad N°11

Fuente: Software Mantenimiento

Zona	Equipos	Subequipos	ECUENCIA (Falla)	TIEMPO DETENCION	COSTO REPARACION	IMPACTO SEGURIDAD	IMPACTO AMBIENTAL	Factor Exponencia	Consecuencia	Valor final	Criticidad
Tren Medio	Stand M2	Barron Salida	1	1	1	1	1	2	4	4	No crítica
Tren Medio	Stand M2	Traslacion	1	1	1	1	1	2	4	4	No crítica
Tren Medio	Stand M2	Instrumentacion	1	1	1	1	1	2	4	4	No crítica
Tren Medio	Snap M2-M3	Instrumentacion	1	1	1	1	1	2	4	4	No crítica
Tren Medio	Stand M3	Barron entrada	1	1	1	1	1	2	4	4	No crítica
Tren Medio	Stand M3	Barron Salida	1	1	1	1	1	2	4	4	No crítica
Tren Medio	Stand M3	Instrumentacion	1	1	1	1	1	2	4	4	No crítica
Tren Medio	Stand M4	Barron entrada	1	1	1	1	1	2	4	4	No crítica
Tren Medio	Stand M4	Barron Salida	1	1	1	1	1	2	4	4	No crítica
Tren Medio	Stand M4	Traslacion	1	1	1	1	1	2	4	4	No crítica
Tren Medio	Stand M4	Instrumentacion	1	1	1	1	1	2	4	4	No crítica
Tren Acabador	Stand A1	Barron de entrada	1	1	1	1	1	2	4	4	No crítica
Tren Acabador	Stand A1	Barron de salida	1	1	1	1	1	2	4	4	No crítica
Tren Acabador	Stand A1	Instrumentacion	1	1	1	1	1	2	4	4	No crítica
Tren Acabador	Stand A2	Barron entrada	1	1	1	1	1	2	4	4	No crítica
Tren Acabador	Stand A2	Barron salida	1	1	1	1	1	2	4	4	No crítica
Tren Acabador	Stand A2	Traslacion	1	1	1	1	1	2	4	4	No crítica
Tren Acabador	Stand A2	Instrumentacion	1	1	1	1	1	2	4	4	No crítica
Tren Acabador	Stand A3	Barron entrada	1	1	1	1	1	2	4	4	No crítica
Tren Acabador	Stand A3	Barron salida	1	1	1	1	1	2	4	4	No crítica
Tren Acabador	Stand A3	Instrumentacion	1	1	1	1	1	2	4	4	No crítica
Tren Acabador	Central de lubricacion	Instrumentacion	1	1	1	1	1	2	4	4	No crítica
Tren Acabador	Stand A4	Barron entrada	1	1	1	1	1	2	4	4	No crítica
Tren Acabador	Stand A4	Barron Salida	1	1	1	1	1	2	4	4	No crítica
Tren Acabador	Stand A4	Traslacion	1	1	1	1	1	2	4	4	No crítica
Tren Acabador	Stand A4	Instrumentacion	1	1	1	1	1	2	4	4	No crítica
Tren Acabador	Formador de lazo A4-A5	Instrumentacion	1	1	1	1	1	2	4	4	No crítica
Tren Acabador	Stand A5	Barron entrada	1	1	1	1	1	2	4	4	No crítica
Tren Acabador	Stand A5	Barron salida	1	1	1	1	1	2	4	4	No crítica
Tren Acabador	Stand A5	Instrumentacion	1	1	1	1	1	2	4	4	No crítica
Tren Acabador	Formador de lazo A5-A6	Instrumentacion	1	1	1	1	1	2	4	4	No crítica
Tren Acabador	Central de lubricacion	Instrumentacion	1	1	1	1	1	2	4	4	No crítica
Tren Acabador	Stand A6	Barron entrada	1	1	1	1	1	2	4	4	No crítica
Tren Acabador	Stand A6	Barron salida	1	1	1	1	1	2	4	4	No crítica
Tren Acabador	Stand A6	Instrumentacion	1	1	1	1	1	2	4	4	No crítica

Índice Criticidad Nº12

Fuente: Software Mantenimiento

Zona	Equipos	Subequipos	ECUENCIA (Falla)	TIEMPO DETENCION	COSTO REPARACION	IMPACTO SEGURIDAD	IMPACTO AMBIENTAL	Factor Exponencia	Consecuencia	Valor final	Criticidad
Parrilla	Parrilla enfriamiento	instrumentacion	1	1	1	1	1	2	4	4	No critica
Parrilla	Cadenas formador de	instrumentacion	1	1	1	1	1	2	4	4	No critica
Parrilla	Carro Transferidor	instrumentacion	1	1	1	1	1	2	4	4	No critica
Parrilla	Electronica	Pulпитos de control	1	1	1	1	1	2	4	4	No critica
Empaquetado	Caminos de rodillos	Instrumentacion	1	1	1	1	1	2	4	4	No critica
Empaquetado	Camino rodillo salida T4	Instrumentacion	1	1	1	1	1	2	4	4	No critica
Empaquetado	Transferidor de barras	Instrumentacion	1	1	1	1	1	2	4	4	No critica
Empaquetado	Rodillo salida cunas	Instrumentacion	1	1	1	1	1	2	4	4	No critica
Empaquetado	Rodillo salida paquete	Instrumentacion	1	1	1	1	1	2	4	4	No critica
Empaquetado	Bascula pesaje final	Instrumentacion	1	1	1	1	1	2	4	4	No critica
Empaquetado	Mesa evacuacion	Instrumentacion	1	1	1	1	1	2	4	4	No critica
Utilidades	compresores	secador	1	1	1	1	1	2	4	4	No critica
Utilidades	compresores	acumulador	1	1	1	1	1	2	4	4	No critica
Utilidades	compresores	piping	1	1	1	1	1	2	4	4	No critica
Utilidades	compresores	instrumentacion	1	1	1	1	1	2	4	4	No critica
Utilidades	Agua indirecta	Instrumentacion	1	1	1	1	1	2	4	4	No critica
Utilidades	master	instrumentacion	1	1	1	1	1	2	4	4	No critica
Parrilla	Camino de rodillos T3	instrumentacion	1	1	1	1	1	2	4	4	No critica
Horno	Sistema de control	Instrumentacion	1	1	1	1	1	2	4	4	No critica
Tren Acabador	Formador de lazo A3-A4	Instrumentacion	1	1	1	1	1	2	4	4	No critica

Índice Criticidad N°13

Fuente: Software Mantenimiento

Anexo 6

Tabla Costos Mantenimiento 2015

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septie	Octubre	Noviemb	Diciemb	2015
Produccion mes	3.000	5.000	5.000	5.000	5.000	4.500	5.500	5.500	2.500	8.200	8.200	7.000	64.400
TC	619	610	615	615	615	615	615	615	615	615	615	615	615
Mantenimiento USD/t	40,63	27,50	29,28	28,72	28,76	31,99	26,21	26,24	280,53	18,01	18,04	20,96	35,24
Material de Mantenim	11,14	7,44	9,35	9,35	9,35	10,39	8,50	8,50	13,13	5,70	5,70	6,68	8,14
Material Mecanico	2,69	1,97	2,60	2,60	2,60	2,89	2,37	2,37	3,25	1,59	1,59	1,86	2,22
Refrigeracion	0,05	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,07	0,02	0,02	0,02	0,03
Pernos,Tuercas y Ara	0,16	0,10	0,10	0,10	0,10	0,11	0,09	0,09	0,20	0,06	0,06	0,07	0,09
Cables de Acero y Ga	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01
Conjuntos y Piezas M	0,13	0,08	0,08	0,08	0,08	0,09	0,07	0,07	0,16	0,05	0,05	0,06	0,08
Mangueras y Mangotes	0,05	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,07	0,02	0,02	0,02	0,03
Placas,Lingotes y Ba	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
Herramientas Mecanic	0,54	0,33	0,33	0,33	0,33	0,36	0,30	0,30	0,33	0,20	0,20	0,23	0,29
Material de Pintura	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,04	0,01	0,01	0,01	0,02
Mat P/Ais Termi	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
Mat Mecanicos-Divers	1,62	1,31	1,95	1,95	1,95	2,17	1,77	1,77	1,95	1,19	1,19	1,39	1,62
Electro-Electronico	1,62	0,98	1,30	1,30	1,30	1,45	1,18	1,18	1,95	0,79	0,79	0,93	1,14
Piezas Electronicas	0,22	0,13	0,13	0,13	0,13	0,14	0,12	0,12	0,26	0,08	0,08	0,09	0,12
Alambres y Cables	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
Lamparas , Fusi	0,13	0,08	0,08	0,08	0,08	0,09	0,07	0,07	0,16	0,05	0,05	0,06	0,08
Interruptores y Disy	0,06	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,08	0,02	0,02	0,03	0,04
Div Mat Electricos	0,05	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,07	0,02	0,02	0,02	0,03
Material Hidraulico	1,08	0,66	0,81	0,81	0,81	0,90	0,74	0,74	1,30	0,50	0,50	0,58	0,72
Mat de Mant Civil	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,04	0,01	0,01	0,01	0,02
Grasas y Aceites	1,35	0,82	0,98	0,98	0,98	1,08	0,89	0,89	1,63	0,59	0,59	0,70	0,87
Soldadura y Corte	0,02	0,01	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03
Sellado	0,06	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,08	0,02	0,02	0,03	0,04
Rodamientos	1,08	0,66	0,65	0,65	0,65	0,72	0,59	0,59	1,30	0,40	0,40	0,46	0,61
Otros Mat de Mantto	0,11	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,13	0,04	0,04	0,05	0,06
Grandes Mtto	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	227,64	0,00	0,00	0,00	8,84
Mantenimiento Extern	3,62	4,29	4,25	3,65	3,65	4,05	3,32	3,32	7,95	2,59	2,59	2,84	3,52
Serv. - Mant. mecani	1,89	2,95	2,93	2,60	2,60	2,89	2,37	2,37	5,85	1,78	1,78	2,09	2,46
Serv. - electro-elec	1,70	1,31	1,30	1,02	1,02	1,14	0,93	0,93	2,05	0,79	0,79	0,73	1,04
Serv. - civil	0,04	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,05	0,01	0,01	0,02	0,02
Serv. - vehiculos	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Manten.y reparos	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Personal Mantenimien	24,25	14,79	14,71	14,74	14,78	16,46	13,50	13,54	29,86	9,13	9,15	10,74	13,83
Personal Mantenimien	24,25	14,79	14,71	14,74	14,78	16,46	13,50	13,54	29,86	9,13	9,15	10,74	13,83
Otros Gastos Manteni	1,62	0,98	0,98	0,98	0,98	1,08	0,89	0,89	1,95	0,59	0,59	0,70	0,91
Otros Gastos Manteni	1,62	0,98	0,98	0,98	0,98	1,08	0,89	0,89	1,95	0,59	0,59	0,70	0,91

Tabla Costos Mantenimiento 2015

Fuente: Gerdau S.A

Anexo 7

Planos Componentes Críticos de Cajones y Mecanismo de Corte

Plano Cuchillos del Mecanismo de Corte

Fuente: Gerdau S.A

Plano Muela del Mecanismo de Corte

Fuente: Gerdau S.A

Plano Brazos del Mecanismo de Corte

Fuente: Gerdau S.A

Plano Cajones

Fuente: Gerdau S.A

Anexo 8

Política Mantenimiento Ideal Laminación Renca

Política Mantenimiento Laminación Renca																	
Equipo	Subequipo	Correctiva no planificada	Correctiva planificada	Preventiva					Predictiva					Repuesto Crítico	Indice Criticidad	Criticidad	
				A	ST	T	M	SM	A	ST	T	M	SM				
Cizalla T3	Mecanismo de corte		x					x								258	Crítica
Cajones	Cajones		x					x						x		186	Crítica
Stand A6	Torre		x					x						x		156	Crítica
Stand A6	Stand		x					x								156	Crítica
Mesa Fija	Rodillos		x					x								129	Crítica
Carro Transferidor	Mecanismo de levante		x					x						x		129	Crítica
Transferidor de barras	Cadenas	x						x						x		108	Crítica
Mesa Fija	Impulsor 7mo Pase		x			x								x		104	Crítica
Sistema Motriz	Motor						x				x					104	Crítica
Sistema Motriz	Acoplamiento motor/reductor	x					x							x		104	Crítica
Stand A5	Torre		x		x									x		104	Crítica
Stand A5	Stand		x		x											54	Crítica
Cizalla T3	Motor				x									x		104	Crítica
Cizalla T4	Conjunto cizalla T4		x				x							x		104	Crítica
Sistema Motriz	Cardanes			x										x		102	Crítica
Traslacion de	Rodillos deshornamiento					x								x		84	Crítica
Cizalla T1	Muela Superior				x											86	Crítica
Cizalla T1	Impulsor T1		x					x						x		86	Crítica
Stand M4	Torre		x	x										x		86	Crítica
Central Hidraulica	Central Hidraulica		x	x										x		8	Crítica
Stand A1	Stand		x		x											86	Crítica
Stand A4	Stand		x		x											86	Crítica
Parrilla enfriamiento	Excentricas					x										86	Crítica
Rodillo salida cunas	Rodillos		x			x								x		86	Crítica
agua directa	bomba alimentacion A5/A6		x			x								x		86	Crítica
agua directa	bomba pozo acumulador 1		x			x								x		86	Crítica
Parrilla enfriamiento	Peines	x						x								84	Crítica
Salida 7mo Pase	Flap		x	x										x		72	Crítica

Política Mantenimiento Laminador N°1

Fuente: Programa Mantenimiento

Política Mantenimiento Laminación Renca																	
Equipo	Subequipo	Correctiva no planificada	Correctiva planificada	Preventiva					Predictiva					Repuesto Crítico	Indice Criticidad	Criticidad	
				A	ST	T	M	SM	A	ST	T	M	SM				
Stand M3	Motor					x						x			x	72	Crítica
Stand A2	Torre		x	x											x	72	Crítica
Cizalla T2	Muela						x									72	Crítica
Parrilla enfriamiento	Motor					x									x	72	Crítica
Cizalla T4	Lubricacion		x	x								x				72	Crítica
Cizalla T4	Conjunto tope corte a medida		x		x										x	72	Crítica
Rodillo salida paquete	Rodillos		x		x										x	72	Crítica
transferidor de paquete	Cadenas		x			x									x	72	Crítica
Salida 7mo Pase	Camino rodillos		x		x										x	68	Crítica
Carro Transferidor	mecanismo de traslacion		x				x								x	68	Crítica
Camino rodillo salida T4	Rodillos		x	x											x	68	Crítica
Tope Movil	Accionamiento		x					x							x	68	Crítica
Gruas	grua Inamar					x										67	Crítica
Gruas	grua kuly					x										67	Crítica
Cizalla T3	Canaleta de entrada	x	x					x								66	Crítica
Stand M1	Convertidor						x									62	Crítica
Stand M4	Convertidor						x									62	Crítica
Stand A3	Convertidor						x									62	Crítica
Stand A5	Convertidor						x									62	Crítica
Cizalla T3	Convertidor						x									62	Crítica
Camino de rodillos T3	Convertidor						x									62	Crítica
Cajones	Rodillos		x			x									x	62	Crítica
Cajones	Accionamiento	x				x									x	62	Crítica
Parrilla enfriamiento	Convertidor						x									62	Crítica
Cadenas formador de	Convertidor						x									62	Crítica
master	master	x			x											62	Crítica
Central Lubricacion	Instrumentacion	x			x											56	Crítica
Mesa de Salida	Rodillos Deshornamiento		x			x									x	54	Crítica

Política Mantenimiento Laminador N°2

Fuente: Programa Mantenimiento

Política Mantenimiento Laminación Renca																	
Equipo	Subequipo	Correctiva no planificada	Correctiva planificada	Preventiva					Predictiva					Repuesto Crítico	Indice Criticidad	Criticidad	
				A	ST	T	M	SM	A	ST	T	M	SM				
Mesa Fija	Tumbadora		x				x								x	54	Crítica
Mesa Basculante	Central Hidraulica		x	x											x	54	Crítica
Mesa Basculante	Rodillos		x		x										x	54	Crítica
Virador	Accionamiento		x		x										x	54	Crítica
Formador de lazo A5-	Accionamiento		x		x										x	54	Crítica
Cizalla T3	Flap		x			x									x	54	Crítica
Transferidor de barras	Levante		x		x										x	54	Crítica
Formador de paquetes	Cunas	x					x									54	Crítica
Refractario del horno	Instrumentacion				x											52	Crítica
Sistema hidraulico	Piston de Levante		x	x											x	52	Crítica
Sistema Motriz	Reductor											x				52	Crítica
Sistema Motriz	Acoplamiento Reductor/Trio	x			x										x	52	Crítica
Cizalla T1	Reductor											x				52	Crítica
Stand M1	Reductor											x				52	Crítica
Stand M1	Torre		x		x										x	52	Crítica
Stand M1	Stand		x	x												52	Crítica
Stand M2	Reductor											x				52	Crítica
Stand M3	Reductor											x				52	Crítica
Stand M4	Reductor											x				52	Crítica
Stand M4	Stand		x		x											52	Crítica
Stand A1	Reductor											x				52	Crítica
Stand A1	Cardanes		x		x										x	52	Crítica
Stand A1	Torre		x		x										x	52	Crítica
Stand A2	Reductor											x				52	Crítica
Stand A3	Reductor											x				52	Crítica
Stand A4	Reductor											x				52	Crítica
Stand A4	Torre		x		x										x	52	Crítica
Stand A5	Reductor											x				52	Crítica

Política Mantenimiento Laminador N°3

Fuente: Programa Mantenimiento

Política Mantenimiento Laminación Renca																	
Equipo	Subequipo	Correctiva no planificada	Correctiva planificada	Preventiva					Predictiva					Repuesto Crítico	Indice Criticidad	Criticidad	
				A	ST	T	M	SM	A	ST	T	M	SM				
Stand A6	Reductor											x				52	Crítica
Stand A6	Cardanes		x	x											x	52	Crítica
Cizalla T3	Lubricacion Automatica			x								x			x	52	Crítica
Parrilla enfriamiento	Reductor											x			x	52	Crítica
Formador de lazo A3- Stand A6	Accionamiento					x										44	Semi Crítica
	Refrigeracion		x			x									x	44	Semi Crítica
Parrilla enfriamiento	Rodillos alineadores	x			x										x	44	Semi Crítica
Sistema hidraulico	Piston de Traslacion		x	x											x	43	Semi Crítica
Sistema de fuerza	Bombas hidraulicas		x	x												43	Semi Crítica
Stand M2	Stand		x		x											43	Semi Crítica
Stand M4	Cardanes		x	x											x	43	Semi Crítica
Cizalla T2	Caja de piñones			x												43	Semi Crítica
Formador de lazo A4- Cizalla T3	Rotosonda			x											x	43	Semi Crítica
	Caja de piñones			x												43	Semi Crítica
Cajones	Central Hidraulica				x										x	43	Semi Crítica
Bascula pesaje final	Bascula				x											43	Semi Crítica
agua directa	bomba pozo acumulador 2				x										x	43	Semi Crítica
Estructura del horno	Puerta Enhornamiento		x			x									x	40	Semi Crítica
Mesa evacuacion	Cadenas		x		x										x	40	Semi Crítica
Mesa de Carga	Instrumentacion				x											38	Semi Crítica
Sistema de control	Gabinete del PLC						x									38	Semi Crítica
Mesa de Salida	Transferidor		x			x									x	38	Semi Crítica
Virador	Instrumentacion				x										x	38	Semi Crítica
Camino de rodillos T3	Rodillos		x				x								x	38	Semi Crítica
Cadenas formador de	Cadena		x			x									x	38	Semi Crítica
Refractario del horno	Refractario boveda		x	x									x			36	Semi Crítica
Cizalla T1	Motor			x												36	Semi Crítica
Cizalla T1	Caja de piñones			x												36	Semi Crítica

Política Mantenimiento Laminador N°4

Fuente: Programa Mantenimiento

Política Mantenimiento Laminación Renca																	
Equipo	Subequipo	Correctiva no planificada	Correctiva planificada	Preventiva					Predictiva					Repuesto Crítico	Indice Criticidad	Criticidad	
				A	ST	T	M	SM	A	ST	T	M	SM				
Stand M1	Motor			x												36	Semi Crítica
Stand M2	Motor			x												36	Semi Crítica
Stand M3	Stand		x	x												36	Semi Crítica
Stand M4	Motor			x												36	Semi Crítica
Stand A1	motor			x												36	Semi Crítica
Cizalla T2	Motor			x												36	Semi Crítica
Stand A3	Stand		x	x												36	Semi Crítica
Stand A4	Motor			x												36	Semi Crítica
Stand A5	Motor			x												36	Semi Crítica
Stand A5	Cardanes		x	x										x		36	Semi Crítica
agua directa	bomba alimentacion 1			x										x		36	Semi Crítica
agua directa	bomba alimentacion 2			x										x		36	Semi Crítica
Sistema de Cizalla T4	Circuito gas Instrumentacion			x							x					36	Semi Crítica
Caminos de rodillos	Rodillos		x	x											x	34	Semi Crítica
transferidor de paquete	Levante		x	x											x	34	Semi Crítica
Cizalla T1	Convertidor						x								x	31	Semi Crítica
Stand M2	Convertidor						x								x	31	Semi Crítica
Stand M3	Convertidor						x								x	31	Semi Crítica
Stand M3	Torre		x	x											x	31	Semi Crítica
Stand A1	Convertidor						x								x	31	Semi Crítica
Stand A2	Convertidor						x								x	31	Semi Crítica
Stand A2	Cardanes		x	x											x	31	Semi Crítica
Cizalla T2	Flap		x	x											x	31	Semi Crítica
Cizalla T2	Instrumentacion			x											x	31	Semi Crítica
Cizalla T2	convertidor						x								x	31	Semi Crítica
Stand A3	Motor			x												31	Semi Crítica
Stand A4	Convertidor						x								x	31	Semi Crítica

Política Mantenimiento Laminador N°5

Fuente: Programa Mantenimiento

Política Mantenimiento Laminación Renca																
Equipo	Subequipo	Correctiva no planificada	Correctiva planificada	Preventiva					Predictiva					Repuesto Crítico	Indice Criticidad	Criticidad
				A	ST	T	M	SM	A	ST	T	M	SM			
Stand A4	Refrigeracion		x	x										x	31	Semi Critica
Stand A6	Convertidor						x							x	31	Semi Critica
Cajones	Convertidor						x							x	31	Semi Critica
Carro Transferidor	Convertidor						x							x	31	Semi Critica
Caminos de rodillos	Convertidor						x							x	31	Semi Critica
Mesa de Carga	Mesa galopante		x	x										x	30	Semi Critica
Mesa Basculante	Accionamiento		x		x									x	30	Semi Critica
Parrilla enfriamiento	Cajon Fijo			x										x	30	Semi Critica
compresores	compresor						x								30	Semi Critica
Refractario del horno	Refractario soleras		x	x											28	Semi Critica
Refractario del horno	Refractarios muros		x	x											28	Semi Critica
Refractario del horno	Refractarios ductos		x	x											28	Semi Critica
Refractario del horno	Refractario chimenea		x	x											28	Semi Critica
Traslacion de	Rodillos enhornamiento		x	x										x	28	Semi Critica
Traslacion de	Tope fijo palanquillas		x	x										x	28	Semi Critica
Sistema hidraulico	Banco de valvulas galopante		x	x										x	28	Semi Critica
Sistema hidraulico	Banco de valvulas, movimiento		x	x										x	28	Semi Critica
Sistema Motriz	Trio			x										x	28	Semi Critica
Stand	Regulacion superior		x	x											28	Semi Critica
Stand	Regulacion inferior		x	x											28	Semi Critica
Stand M1	Cardanes		x	x										x	28	Semi Critica
Stand M2	Cardanes		x	x										x	28	Semi Critica
Stand M2	Torre		x	x										x	28	Semi Critica
Stand M3	Cardanes		x	x										x	28	Semi Critica
Stand A2	Motor			x											28	Semi Critica
Stand A2	Stand		x	x											28	Semi Critica
Cizalla T2	Accionamiento		x	x										x	28	Semi Critica
Cizalla T2	Desviador		x	x										x	28	Semi Critica

Política Mantenimiento Laminador N°6

Fuente: Programa Mantenimiento

Política Mantenimiento Laminación Renca																
Equipo	Subequipo	Correctiva no planificada	Correctiva planificada	Preventiva					Predictiva					Repuesto Crítico	Indice Criticidad	Criticidad
				A	ST	T	M	SM	A	ST	T	M	SM			
Stand A3	Cardanes		x	x										x	28	Semi Crítica
Stand A3	Torre		x	x										x	28	Semi Crítica
Stand A3	Traslacion	x		x										x	28	Semi Crítica
Stand A4	Cardanes		x	x										x	28	Semi Crítica
Stand A6	Motor			x											28	Semi Crítica
Cizalla T4	Dispositivos		x	x										x	28	Semi Crítica
Subestaciones	subestacion planta			x										x	28	Semi Crítica
Subestaciones	subestacion laminacion			x										x	28	Semi Crítica
Informatica	comunicacion		x	x											28	Semi Crítica
Sala Electrica Laminacio	Tablero + RMC.1			x						x					28	Semi Crítica
Sala Electrica Laminacio	Tablero + RMC.2			x						x					28	Semi Crítica
Sala Electrica Laminacio	Tablero + RMC.3			x						x					28	Semi Crítica
Sala Electrica Laminacio	TA8 CAJA M1			x						x					28	Semi Crítica
Sala Electrica Laminacio	TA9 Caja M2			x						x					28	Semi Crítica
Sala Electrica Laminacio	TA10 Caja M3			x						x					28	Semi Crítica
Sala Electrica Laminacio	TA11 Caja M4			x						x					28	Semi Crítica
Sala Electrica Laminacio	TA1 Caja A1			x						x					28	Semi Crítica
Sala Electrica Laminacio	TA2 caja A2			x						x					28	Semi Crítica
Sala Electrica Laminacio	TA3 Caja A3			x						x					28	Semi Crítica
Sala Electrica Laminacio	TA4 Caja A4			x						x					28	Semi Crítica
Sala Electrica Laminacio	TA5 Caja A5			x						x					28	Semi Crítica
Sala Electrica Laminacio	TA6 Caja A6			x						x					28	Semi Crítica
Sala Electrica Laminacio	TB14 Cizalla T1			x						x					28	Semi Crítica
Sala Electrica Laminacio	TB13 Cizalla T2			x						x					28	Semi Crítica
Sala Electrica Laminacio	TB15 Alimentacion auxiliares			x						x					28	Semi Crítica
Sala Electrica Laminacio	TB16 Camino de Rodillos			x						x					28	Semi Crítica
Sala Electrica Laminacio	7 camino de rodillos Salida Seccion B			x						x					28	Semi Crítica
Sala Electrica Laminacio	TB18 Cizalla T3			x						x					28	Semi Crítica

Política Mantenimiento Laminador N°7

Fuente: Programa Mantenimiento

Política Mantenimiento Laminación Renca																
Equipo	Subequipo	Correctiva no planificada	Correctiva planificada	Preventiva					Predictiva					Repuesto Crítico	Indice Criticidad	Criticidad
				A	ST	T	M	SM	A	ST	T	M	SM			
Sala Electrica Laminacion	Parrilla			x						x					28	Semi Crítica
Sala Electrica Laminacion	TB23 camino de rodillos entrada T4			x						x					28	Semi Crítica
Sala Electrica Laminacion	TB20 Cadenas			x						x					28	Semi Crítica
Sala Electrica Laminacion	KC.1 Distribucion de tensiones			x						x					28	Semi Crítica
Sala Electrica Laminacion	STB1 Caja Guardamotor			x						x					28	Semi Crítica
Sala Electrica Laminacion	STB2 Caja Guardamotor			x						x					28	Semi Crítica
Sala Electrica Laminacion	STB3 Caja Guardamotor			x						x					28	Semi Crítica
Sala Electrica Laminacion	STB4 Caja Guardamotor			x						x					28	Semi Crítica
Sala Electrica Laminacion	Condensador			x						x					28	Semi Crítica
Sala Electrica Laminacion	PP1 Pulpito Principal			x						x					28	Semi Crítica
Sala Electrica Laminacion	PP2 Pulpito 2			x						x					28	Semi Crítica
Sala Electrica Laminacion	PP3 Pulpito 3			x						x					28	Semi Crítica
Sala Electrica Laminacion	PP4 Pulpito 4			x						x					28	Semi Crítica
Central Lubricacion	Sistema de Bombeo	x													27	No crítica
Central Lubricacion	Sistema de bombeo	x													27	No crítica
Formador de lazo A3-	Rotosonda		x												43	No crítica
Formador de lazo A4-	Accionamiento		x												27	No crítica
Formador de paquetes	Brazo	x													27	No crítica
Formador de paquetes	Central hidraulica		x												27	No crítica
agua directa	bomba alimentacion 4		x												27	No crítica
Cizalla T3	Instrumentacion		x										x		24	No crítica
Cajones	Instrumentacion		x										x		24	No crítica
Tope Movil	Instrumentacion		x										x		24	No crítica
Stand	Guia Salida		x												22	No crítica
Stand	Refrigeracion		x										x		22	No crítica
Snap M2-M3	Snap M2-M3		x												22	No crítica
Central Hidraulica	Central Hidraulica		x												22	No crítica
Formador de lazo A5-	Rotosonda		x												43	No crítica

Política Mantenimiento Laminador N°8

Fuente: Programa Mantenimiento

Política Mantenimiento Laminación Renca														Repuesto Crítico	Indice Críticidad	Críticidad	
Equipo	Subequipo	Correctiva no planificada	Correctiva planificada	Preventiva					Predictiva								
				A	ST	T	M	SM	A	ST	T	M	SM				
agua directa	bomba pozo acumulador 3		x													22	No crítica
Sistema de	Circuito diesel		x													20	No crítica
Formador de lazo A3-	Snap		x													20	No crítica
Formador de lazo A4-	Snap		x													20	No crítica
Formador de lazo A5-	Snap		x													20	No crítica
Sistema de	Quemadores		x													19	No crítica
Sistema hidraulico	Acometida a grupo de valvulas		x													19	No crítica
Sistema de fuerza	Ventiladores	x														19	No crítica
Sistema de fuerza	Auxiliares	x												x		19	No crítica
Sistema de fuerza	Enhornamiento		x													19	No crítica
Sistema de fuerza	Deshornamiento		x													19	No crítica
Sistema de fuerza	Instrumentacion		x											x		19	No crítica
Stand	Soportes		x													19	No crítica
Stand	Guia entrada		x													19	No crítica
Stand M1	Guia de entrada		x													19	No crítica
Stand M1	Guia de Salida		x													19	No crítica
Stand M2	Guia de entrada		x													19	No crítica
Stand M2	Guia de Salida		x													19	No crítica
Stand M3	Guia de entrada		x													19	No crítica
Stand M3	Guia de Salida		x													19	No crítica
Stand M4	Guia de entrada		x													19	No crítica
Stand M4	Guia de Salida		x													19	No crítica
Stand A1	Guia de entrada		x													19	No crítica
Stand A1	Guia de salida		x													19	No crítica
Stand A2	Guia de entrada		x													19	No crítica
Stand A2	Guia salida		x													19	No crítica
Central de lubricacion	Sistema de bombeo	x												x		19	No crítica
Stand A3	Guia de entrada		x													19	No crítica

Política Mantenimiento Laminador N°9

Fuente: Programa Mantenimiento

Política Mantenimiento Laminación Renca																	
Equipo	Subequipo	Correctiva no planificada	Correctiva planificada	Preventiva					Predictiva					Repuesto Crítico	Indice Criticidad	Criticidad	
				A	ST	T	M	SM	A	ST	T	M	SM				
Stand A3	Guia de salida		x													19	No crítica
Central de lubricacion	Sistema de bombeo	x												x		19	No crítica
Stand A4	Guia de entrada		x													19	No crítica
Stand A4	Guia de Salida		x													19	No crítica
Stand A5	Guia de entrada		x													19	No crítica
Stand A5	Guia de Salida		x													19	No crítica
Central de lubricacion	Sistema de bombeo	x												x		19	No crítica
Stand A6	Guia de entrada		x													19	No crítica
Stand A6	Guia de salida		x													19	No crítica
Electronica	PLC	x														19	No crítica
Cizalla T4	Camino de rodillo de entrada		x													19	No crítica
Cizalla T4	Sistema hidraulico		x											x		19	No crítica
Cizalla T4	Sistema neumatico		x											x		19	No crítica
agua directa	torres de enfriamiento		x													19	No crítica
agua directa	filtro 250	x												x		19	No crítica
agua directa	bomba pozo acumulador 4		x													19	No crítica
Agua indirecta	torres de enfriamiento		x													19	No crítica
Agua indirecta	filtro 180	x												x		19	No crítica
Stand M4	Refrigeracion		x											x		15	No crítica
Stand A1	Refrigeracion		x											x		15	No crítica
Stand A2	Refrigeracion		x											x		15	No crítica
Stand A6	Stand falso		x													15	No crítica
Cizalla T3	Desviador		x													15	No crítica
Transferidor de barras	Estructura		x													15	No crítica
agua directa	red	x														15	No crítica
Sistema de control	Accionamientos		x													14	No crítica
Stand	Instrumentacion		x											x		14	No crítica
Camino de rodillos de	Rodillo tipo A		x											x		12	No crítica

Política Mantenimiento Laminador N°10

Fuente: Programa Mantenimiento

Política Mantenimiento Laminación Renca																	
Equipo	Subequipo	Correctiva no planificada	Correctiva planificada	Preventiva					Predictiva					Repuesto Crítico	Indice Criticidad	Criticidad	
				A	ST	T	M	SM	A	ST	T	M	SM				
Camino de rodillos de	Rodillo tipo B		x												x	12	No crítica
Estructura del horno	Puerta de deshormamiento		x													12	No crítica
Refrigeracion horno	Bombas de achique		x													12	No crítica
Stand M3	Traslacion		x													12	No crítica
Virador	Traslacion		x													12	No crítica
Central de lubricacion	Instrumentacion		x											x		12	No crítica
Central Hidraulica	Instrumentacion		x											x		12	No crítica
Stand A5	Traslacion		x													12	No crítica
Camino de rodillos T3	Estructura		x													12	No crítica
Transferidor de barras	Rodillos Alineadores		x											x		12	No crítica
agua directa	bomba alimentacion 3		x													12	No crítica
agua directa	bomba de agua a filtrar		x													12	No crítica
agua directa	instrumentacion		x											x		12	No crítica
Agua indirecta	bomba agua de recirculacion		x													12	No crítica
Agua indirecta	bomba de alimentacion		x													12	No crítica
Agua indirecta	bomba agua de retorno achique		x													12	No crítica
Stand A5	Refrigeracion		x											x		10	No crítica
Cadenas formador de	Motoreductor		x											x		10	No crítica
Rodillo salida cunas	Estructura		x													10	No crítica
Mesa de Carga	Mesa rompe paquete		x													9	No crítica
Sistema de	Circuito aire caliente		x													7	No crítica
Sistema de	Circuito aire frio		x													7	No crítica
Sistema de	Recuperador de calor		x													7	No crítica
Sistema de	Circuito gas y aire bajada a		x													7	No crítica
Sistema de	Circuito aire dilucion		x													7	No crítica
Sistema de	Circuitos aire comprimido		x													7	No crítica
Central Lubricacion	Instrumentacion		x											x		7	No crítica
Cizalla T1	Instrumentacion		x											x		7	No crítica

Política Mantenimiento Laminador N°11

Fuente: Programa Mantenimiento

Política Mantenimiento Laminación Renca																
Equipo	Subequipo	Correctiva no planificada	Correctiva planificada	Preventiva					Predictiva					Repuesto Crítico	Indice Criticidad	Criticidad
				A	ST	T	M	SM	A	ST	T	M	SM			
Stand M1	Refrigeracion		x											x	7	No crítica
Stand M1	Stand Falso		x												7	No crítica
Stand M2	Refrigeracion		x											x	7	No crítica
Stand M2	Stand Falso		x												7	No crítica
Stand M3	Refrigeracion		x											x	7	No crítica
Stand M3	Stand Falso		x												7	No crítica
Central Hidraulica	Instrumentacion		x											x	7	No crítica
Stand A1	Traslacion		x												7	No crítica
Stand A1	Stand falso		x												7	No crítica
Stand A2	Stand Falso		x												7	No crítica
Stand A3	Refrigeracion		x											x	7	No crítica
Stand A3	Stand Falso		x												7	No crítica
Stand A4	Stand falso		x												7	No crítica
Stand A5	Stand falso		x												7	No crítica
Stand A6	Traslacion		x												7	No crítica
Formador de paquetes	instrumentacion		x											x	7	No crítica
Enzunchado	Enzunchadora	x												x	7	No crítica
Rodillo salida paquete	Estructura		x												7	No crítica
Transferidor de paquete	Estructura		x												7	No crítica
Transferidor de paquete	Instrumentacion		x											x	7	No crítica
Mesa evacuacion	Estructura		x												7	No crítica
Evacuacion de paquetes	Pulpito de control	x													7	No crítica
Agua indirecta	red	x													7	No crítica
Camino de rodillos de	Estructura		x												4	No crítica
Camino de rodillos de	Instrumentacion		x											x	4	No crítica
Estructura del horno	Carcaza del horno		x												4	No crítica
Estructura del horno	Cuba humeda y seca		x												4	No crítica
Estructura del horno	Cuchillas fijas		x												4	No crítica

Política Mantenimiento Laminador N°12

Fuente: Programa Mantenimiento

Política Mantenimiento Laminación Renca																	
Equipo	Subequipo	Correctiva no planificada	Correctiva planificada	Preventiva					Predictiva					Repuesto Crítico	Indice Criticidad	Criticidad	
				A	ST	T	M	SM	A	ST	T	M	SM				
Estructura del horno	Cuchillas moviles, Cuchilla movil		x													4	No crítica
Estructura del horno	Cuba enhornamiento, cuba		x													4	No crítica
Estructura del horno	Tolva recogida cascarilla		x													4	No crítica
Estructura del horno	Tolva recogida cascarilla en		x													4	No crítica
Estructura del horno	Soleras fijas		x													4	No crítica
Estructura del horno	Instrumentacion		x											x		4	No crítica
Fundaciones	Estructura fundaciones		x													4	No crítica
Traslacion de	Accionamiento		x													4	No crítica
Traslacion de	Instrumentacion		x											x		4	No crítica
Sistema de	Instrumentacion		x											x		4	No crítica
Sistema salida de	Accesorios	x														4	No crítica
Sistema salida de	Tiro inducido		x													4	No crítica
Sistema salida de	Ventilador de inductor chimenea		x													4	No crítica
Sistema salida de	Multivibratorios		x													4	No crítica
Sistema salida de	Tubos		x													4	No crítica
Sistema salida de	Colector aire dilucion		x													4	No crítica
Sistema salida de	Valvula regulacion de tiro		x													4	No crítica
Sistema salida de	Accionamiento		x													4	No crítica
Sistema salida de	Instrumentacion		x											x		4	No crítica
Refrigeracion horno	Accesorios	x														4	No crítica
Refrigeracion horno	Instrumentacion		x											x		4	No crítica
Sistema hidraulico	Accesorios	x														4	No crítica
Sistema hidraulico	Instrumentacion		x											x		4	No crítica
Sistema de control	Sistema combustion	x														4	No crítica
Sistema de control	HMI	x														4	No crítica
Sistema de control	Panel TDF1	x														4	No crítica
Mesa de Salida	Estructura		x													4	No crítica
Mesa de Salida	tornillo sin fin		x											x		4	No crítica

Política Mantenimiento Laminador N°13

Fuente: Programa Mantenimiento

Política Mantenimiento Laminación Renca																
Equipo	Subequipo	Correctiva no planificada	Correctiva planificada	Preventiva					Predictiva					Repuesto Crítico	Indice Criticidad	Criticidad
				A	ST	T	M	SM	A	ST	T	M	SM			
Mesa de Salida	Cinta Transportadora		x											x	4	No crítica
Mesa de Salida	Instrumentacion		x											x	4	No crítica
Mesa Fija	Instrumentacion		x											x	4	No crítica
Sistema Motriz	Instrumentacion		x											x	4	No crítica
Stand	Barron entrada		x												4	No crítica
Stand	Barron Salida		x												4	No crítica
Mesa Basculante	Instrumentacion		x											x	4	No crítica
Salida 7mo Pase	Instrumentacion		x											x	4	No crítica
Salida 5to Pase	Instrumentacion		x											x	4	No crítica
Salida 3er Pase	Instrumentacion		x											x	4	No crítica
Stand M1	Barron entrada		x												4	No crítica
Stand M1	Barron Salida		x												4	No crítica
Stand M1	Traslacion		x												4	No crítica
Stand M1	Instrumentacion		x											x	4	No crítica
Stand M2	Barron entrada		x												4	No crítica
Stand M2	Barron Salida		x												4	No crítica
Stand M2	Traslacion		x												4	No crítica
Stand M2	Instrumentacion		x											x	4	No crítica
Snap M2-M3	Instrumentacion		x											x	4	No crítica
Stand M3	Barron entrada		x												4	No crítica
Stand M3	Barron Salida		x												4	No crítica
Stand M3	Instrumentacion		x											x	4	No crítica
Stand M4	Barron entrada		x												4	No crítica
Stand M4	Barron Salida		x												4	No crítica
Stand M4	Traslacion		x												4	No crítica
Stand M4	Instrumentacion		x											x	4	No crítica
Stand A1	Barron de entrada		x												4	No crítica
Stand A1	Barron de salida		x												4	No crítica

Política Mantenimiento Laminador N°14

Fuente: Programa Mantenimiento

Política Mantenimiento Laminación Renca																
Equipo	Subequipo	Correctiva no planificada	Correctiva planificada	Preventiva					Predictiva					Repuesto Crítico	Indice Criticidad	Criticidad
				A	ST	T	M	SM	A	ST	T	M	SM			
Stand A1	Instrumentacion		x											x	4	No crítica
Stand A2	Barron entrada		x												4	No crítica
Stand A2	Barron salida		x												4	No crítica
Stand A2	Traslacion		x												4	No crítica
Stand A2	Instrumentacion		x											x	4	No crítica
Stand A3	Barron entrada		x												4	No crítica
Stand A3	Barron salida		x												4	No crítica
Stand A3	Instrumentacion		x											x	4	No crítica
Central de lubricacion	Instrumentacion		x											x	4	No crítica
Stand A4	Barron entrada		x												4	No crítica
Stand A4	Barron Salida		x												4	No crítica
Stand A4	Traslacion		x												4	No crítica
Stand A4	Instrumentacion		x											x	4	No crítica
Formador de lazo A4-	Instrumentacion		x											x	4	No crítica
Stand A5	Barron entrada		x												4	No crítica
Stand A5	Barron salida		x												4	No crítica
Stand A5	Instrumentacion		x											x	4	No crítica
Formador de lazo A5-	Instrumentacion		x											x	4	No crítica
Central de lubricacion	Instrumentacion		x											x	4	No crítica
Stand A6	Barron entrada		x												4	No crítica
Stand A6	Barron salida		x												4	No crítica
Stand A6	Instrumentacion		x											x	4	No crítica
Parrilla enfriamiento	instrumentacion		x											x	4	No crítica
Cadenas formador de	instrumentacion		x											x	4	No crítica
Carro Transferidor	instrumentacion		x											x	4	No crítica
Electronica	Pulpitos de control	x													4	No crítica
Caminos de rodillos	Instrumentacion		x											x	4	No crítica
Camino rodillo salida T4	Instrumentacion		x											x	4	No crítica

Política Mantenimiento Laminador N°15

Fuente: Programa Mantenimiento

Política Mantenimiento Laminación Renca																
Equipo	Subequipo	Correctiva no planificada	Correctiva planificada	Preventiva					Predictiva					Repuesto Crítico	Indice Criticidad	Criticidad
				A	ST	T	M	SM	A	ST	T	M	SM			
Transferidor de barras	Instrumentacion		x											x	4	No crítica
Rodillo salida cunas	Instrumentacion		x											x	4	No crítica
Rodillo salida paquete	Instrumentacion		x											x	4	No crítica
Bascula pesaje final	Instrumentacion		x											x	4	No crítica
Mesa evacuacion	Instrumentacion		x											x	4	No crítica
compresores	secador		x												4	No crítica
compresores	acumulador		x												4	No crítica
compresores	piping		x												4	No crítica
compresores	instrumentacion		x										x	4	No crítica	
Agua indirecta	Instrumentacion		x										x	4	No crítica	
master	instrumentacion		x										x	4	No crítica	
Camino de rodillos T3	instrumentacion		x										x	4	No crítica	
Sistema de control	Instrumentacion		x										x	4	No crítica	
Formador de lazo A3-	Instrumentacion		x										x	4	No crítica	

Política Mantenimiento Laminador N°16

Fuente: Programa Mantenimiento

Anexo 9

Política de Mantenimiento Actual en Gerdau

zona		Pl.Mant.Priv	Nombre	Frecuencia
Horno	MEC	48167	PREVENTIVA HORNO GALOPANTE 25 T-H RENCA	MENSUAL
		37300	MESA CARGA	MENSUAL
	ELE	37276	MANTENIMIENTO PREVENTIVO ELECTRICO HORNO	TRIMESTRAL
	ELO	37273	HORNO RECALENTAMIENTO...MANT.ELECTRONICO	MENSUAL
Desbaste	MEC	37284	PLAN LUBRICACION DESBASTE	MENSUAL
		37278	*****DESBASTE SIMAC*****	MENSUAL
		37270	*****MESA BASCULANTE*****	MENSUAL
		37283	INSPECCION GENERAL DE CADENA DESBASTE	MENSUAL
	ELE	37282	MANTENIMIENTO PREVENTIVO MESAS DESBASTE	MENSUAL
		37280	MANTENIMIENTO PREVENTIVO MOTOR PRINCIPAL	ANUAL
		37353	PUENTE GRUA DESBASTE ELECTRICO	TRIMESTRAL
ELO	37277	TABLEROS DESBASTE...MANT.ELECTRONICO	MENSUAL	
Tren Medio	MEC	37286	PREVENTIVA MECANICA TREN MEDIO	MENSUAL
		37287	PLAN LUBRICACION MECANICO TREN MEDIO	MENSUAL
	ELE	37254	MOTOR C.C. TREN MEDIO	MENSUAL
	ELO	37285	TREN MEDIO MANTENIMIENTO ELECTRONICO	MENSUAL
Tren Acabador	MEC	37290	PLAN LUBRICACION MECANICO TREN ACABADOR	MENSUAL
		37289	PLAN PREVENTIVO MECANICO TREN ACABADOR	MENSUAL
	ELE	37305	MANEJADORAS AIRE MOTORES	QUINCENAL
		31350	MOTOR CC. CIZALLAS T-1, T-2, T-3, T-4	MENSUAL
		37253	MOTOR C.C. TREN ACABADOR	MENSUAL
ELO	37288	TREN ACABADOR MANTENIMIENTO ELECTRONICO	MENSUAL	
Parrilla	MEC	37292	PLAN PREVENTIVO PARRILLA ENFRIAMIENTO	MENSUAL
		37294	PLAN LUBRICACION PARRILLA	MENSUAL
	ELE	37293	MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARRILLA ENFRIA	MENSUAL
	ELO	37291	PARRILLA ENFRIAMIENTO..MANT..ELECTRONICO	MENSUAL
Empaquetado	MEC	37299	PLAN LUBRICACION AUTONOMO EMPAQUETADO	MENSUAL
		37296	*****EMPAQUETADO*****	MENSUAL
	ELE	37298	MANTENIMIENTO EMPAQUETADO ELECTRICO	MENSUAL
	ELO	37295	EMPAQUETADO MANTENIMIENTO ELECTRONICO	MENSUAL
Terminacion	MEC	37341	MITTO PREVENTIVO MECANICO ITURROSPE N°1	MENSUAL
		37343	MITTO PREVENTIVO MECANICO ITURROSPE N°2	MENSUAL
		37345	MITTO PREVENTIVO ENDEREZADORA AZA	MENSUAL
		37339	MITTO PREVENTIVO ENDEREZADORA COX	MENSUAL
		37337	MITTO PREVENTIVO ENDEREZADORA INDAC	MENSUAL
		37317	PLAN CAPTADOR DE POLVOS TERMINACION	MENSUAL
		37259	INSPECCION GENERAL DE CADENA TERMINACION	MENSUAL
		37256	PLAN PUENTE GRUA 1 TERMINACION MECANICO	MENSUAL
		37309	PLAN PUENTE GRUA 2 TERMINACION MECANICO	MENSUAL
	37304	PUENTE GRUA NAVE INTERMEDIA	MENSUAL	
	ELE	37255	PUENTE GRUA N°1 TERMINACION ELECTRICO	MENSUAL
		37306	PUENTE GRUA NAVE INTERMEDIA	MENSUAL
37308		PUENTE GRUA N°2 TERMINACION ELECTRICO	MENSUAL	

Política de Mantenimiento Actual en Gerdau

Fuente: Gerdau S.A

zona		Pl.Mant.Prv	Nombre	Frecuencia
Utilidades	MEC	37352	PLAN PUENTE GRUA DESBASTE MECANICO	MENSUAL
		37324	MANTENCION COMPRESOR INGER SOLL-RAND	MENSUAL
		37327	MANTENCION SECADOR	MENSUAL
		37333	PLAN PUENTE GRUA VITORIA MECANICO	MENSUAL
		37335	PLAN PUENTE GRUA KULY MECANICO	MENSUAL
		37262	PLAN EMERGENCIA RED HUMEDA	MENSUAL
	ELE	37322	MANTENIMIENTO PREVENTIVO COMPRESORES	TRIMESTRAL
	ELO	37272	PLAN MANTENIMIENTO REFRIG ELECTRONICO	MENSUAL
Despacho	MEC	37318	INSPECCION GENERAL CADENA DESPACHO	MENSUAL
		37312	PLAN PUENTE GRUA 1 DESPACHO MECANICO	MENSUAL
		37314	PLAN PUENTE GRUA 2 DESPACHO MECANICO	MENSUAL
	ELE	37311	PLAN PUENTE GRUA 1 DESPACHO ELECTRICO	MENSUAL
		37313	PLAN PUENTE GRUA 2 DESPACHO ELECTRICO	MENSUAL
Nave	MEC	47739	PLAN MANTENIMIENTO STAND DE LAMINACION	MENSUAL
	ELE	37334	PLAN PUENTE GRUA VITORIA ELECTRICO	MENSUAL
		37336	PLAN PUENTE GRUA KULY ELECTRICO	MENSUAL
		37353	PLAN PUENTE GRUA DESBASTE ELECTRICO	MENSUAL
		37320	SISTEMA ALUMBRADO ELECTRICO	MENSUAL
Eq Cambio	MEC	37332	PLAN MTTO PREVENTIVO EQUIPO CAMBIO	MENSUAL
	ELE	37331	PLAN MANTENIMIENTO PREVENTIVO E.CAMBIO	MENSUAL
		37356	PLAN PUENTE GRUA E. CAMBIO ELECTRICO	TRIMESTRAL
Maestranza	MEC	37330	PLAN MANTENIMEINTO PREVENTIVO MAESTRANZA	MENSUAL
	ELE	37354	PLAN PUENTE GRUA MAESTRANZA ELECTRICO	TRIMESTRAL

Política de Mantenimiento Actual en Gerdau

Fuente: Gerdau S.A

Anexo 10

Teoría de la Confiabilidad Aplicada a Sistemas

1. Teoría de la Confiabilidad aplicada a sistemas

Las fallas de un equipo en una instalación industrial no necesariamente se presentan por causas claras y asignables a condiciones preestablecidas, más bien muestran un comportamiento aleatorio con características propias de cada componente, equipo o sistema. Lo anterior queda de manifiesto al analizar las distintas fallas en equipos similares de una instalación industrial sometidos a condiciones de operación comparables.

Las fallas pueden ser provocadas por causas asignables o aleatorias. Las fallas por causas asignables tienen un estudio y solución a través del control de los hechos que la provocaron. En cambio las fallas aleatorias son propias del componente, equipo o sistema y requieren un análisis más complejo.

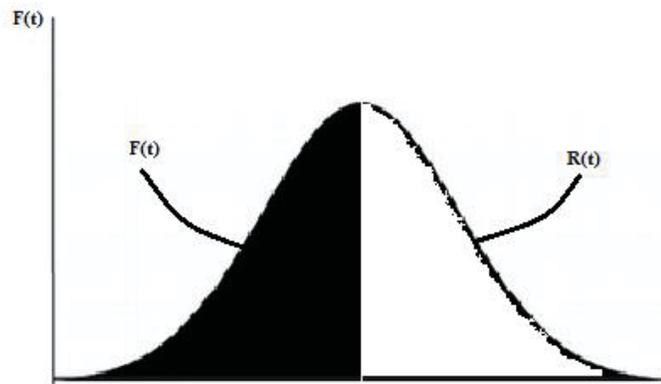
Un equipo en cualquier instante de su vida útil puede estar sólo en dos estados, en funcionamiento o en falla, bajo condiciones externas conocidas. Cabe destacar que no siempre es sencilla la identificación de los estados de funcionamiento y las fallas. Por otro lado en sistemas mecánicos es más difícil hacer esta diferencia, ya que existen estados intermedios entre la falla y el buen funcionamiento que puede afectar la producción en términos de calidad, cantidad y tiempo.

Fijadas las condiciones en las que se reconoce que el equipo o sistema está en falla bajo un entorno establecido, la confiabilidad de un elemento es función solamente del tiempo, cuyas características dependen única y exclusivamente de la distribución de probabilidades con la que la falla pueda darse en el tiempo.

Una de las formas de aumentar la confiabilidad de un sistema es incrementando los costos de inversión, ya sea la incorporación de mejores equipos o por diseños que mejoren la continuidad de operación de las instalaciones. Por otra parte el aumentar el grado de confiabilidad disminuye los costos inherentes a las fallas de los costos de

mantenimiento, que inducen a un descenso en los costos asociados a los repuestos y a los derivados de la falta de producción.

En el gráfico de la ilustración 3.3 se muestra la función de falla $f(t)$ o función de densidad de probabilidad de falla, que representa la probabilidad que un elemento falle en un instante de tiempo, y sus respectivas acumulaciones que indican la probabilidad de falla acumulada $F(t)$ y la confiabilidad respectivamente $R(t)$.



Representación de la función de densidad de probabilidad de fallo

Fuente: Técnicas de Mantenimiento Industrial

Conocida la ley de probabilidad que explica el comportamiento hacia la falla de un componente, es posible describir o identificar otro indicador importante de la seguridad de funcionamiento de un sistema. Este concepto es el tiempo medio entre fallas para equipos reparables o tiempo medio hasta la falla para los no reparables. Por definición MTBF (Mean Time Between Failure) viene dado por:

$$MTBF = \int_0^{\infty} t \cdot f(t) dt = \int_0^{\infty} R(t) dt$$

La confiabilidad de un elemento puede ser caracterizada a través de distintos modelos de probabilidades. Este modelamiento está condicionado a la etapa de vida en que se encuentra el elemento.

Las funciones de importancia para la caracterización de la confiabilidad son $f(t)$, $R(t)$, $F(t)$, $\lambda(t)$ donde conocida una de ellas es posible establecer las demás. Por otro lado, dada la curva de la bañera es posible modelar el comportamiento de cada de una de las tres etapas de la tasa de falla a través de leyes conocidas de probabilidad.

1.1. Modelos Matemáticos para el Cálculo de Funciones de Importancia.

En la fase de mortalidad infantil la falla es decreciente y el modelo matemático que se adapta a esta situación se representa con la distribución de Weibull.

$$\lambda(t) = \left(\frac{\beta}{\alpha}\right) \cdot \left(\frac{t-\gamma}{\alpha}\right)^{\beta-1} \quad \text{con } \beta < 1$$

Es importante destacar que debido a su gran capacidad de parametrización la distribución de probabilidad de Weibull es muy difundida en estudios de confiabilidad, dado que, dependiendo del valor de sus parámetros (α, β, γ) , es posible modelar todos los estados en la vida de un elemento.

En la fase de vida útil, la tasa de fallas es sensiblemente constante. En este caso la función de confiabilidad toma la forma de:

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

Que es una exponencial negativa teniendo:

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad F(t) = 1 - e^{-\lambda t}$$

En el caso de tasa de falla constante, tendremos:

$$MTBF = \int_0^{\infty} R(t)dt = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda}$$

Para el cálculo de la confiabilidad, la distribución exponencial correspondiente a tasas de fallas constantes tiene una importancia fundamental. Esta importancia deriva esencialmente de dos hechos: el primero es que los cálculos para este caso, son notablemente sencillos, hecho de gran importancia al tratar sistemas complejos; el segundo es que esta distribución es la ley típica de ocurrencia de los fenómenos puramente casuales; esto es, aquellos cuyas causas son exclusivamente accidentales.

En la fase de desgaste es posible utilizar una distribución normal para modelar las fallas producidas por desgaste o fatiga. Por lo tanto las funciones $f(t), R(t), \lambda(t)$ vienen dadas por:

$$f(t) = \left(\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \right) e^{-\frac{1}{2} \left[\frac{t-\mu}{\sigma} \right]^2} \quad R(t) = \int_0^{\infty} f(t)dt \quad MTBF = \mu$$

$$\lambda(t) = \frac{e^{-\frac{1}{2} \left[\frac{t-\mu}{\sigma} \right]^2}}{\int_t^{\infty} e^{-\frac{1}{2} \left[\frac{t-\mu}{\sigma} \right]^2} dt}$$

Para el modelamiento matemático de la confiabilidad las distribuciones Weibull, Exponencial, Normal, son muy relevantes dado que sus consideraciones permiten caracterizar cada uno de los periodos de la vida de un elemento. En la Ilustración 3.4

se representa un resumen de las funciones de densidad de probabilidad comúnmente usadas para modelar la confiabilidad de componentes y sistemas.

En el análisis de confiabilidad es interesante recordar la hipótesis de que el elemento posterior a una detención por mantenimiento queda como nuevo.

DISTRIBUCIÓN	MTBF	FORMA GRAFICA	TASA DE FALLA
<p>Weibull</p> $\lambda(t) = \left(\frac{\beta}{\alpha}\right) \left(\frac{t-\gamma}{\alpha}\right)^{\beta-1}$ $f(t) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{t-\gamma}{\alpha}\right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\alpha}\right)^\beta}$ $R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\alpha}\right)^\beta}$	$\gamma + \alpha \times \Gamma\left(\frac{\beta+1}{\beta}\right)$		
<p>Exponencial Negativa</p> $f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$ $R(t) = e^{-\lambda t}$	$\frac{1}{\lambda}$		
<p>Normal</p> $\lambda(t) = \frac{e^{-\frac{1}{2}\left[\frac{t-\mu}{\sigma}\right]^2}}{\int_t^\infty e^{-\frac{1}{2}\left[\frac{t-\mu}{\sigma}\right]^2} dt}$ $f(t) = \left(\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}\right) e^{-\frac{1}{2}\left[\frac{t-\mu}{\sigma}\right]^2}$ $R(t) = 1 - \int_0^t f(t) dt$	μ		

Funciones de densidad de probabilidad comúnmente utilizadas en confiabilidad.

Fuente: Manual de Gestión de Activos y Mantenimiento.

1.2. Determinación de Parámetros de Weibull

La distribución de Weibull es una distribución continua y triparamétrica, es decir, está completamente definida por tres parámetros y es la más empleada en el campo de la confiabilidad.

La función de densidad de la distribución de Weibull para la variable aleatoria t está dada por la siguiente expresión:

$$f(t) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{t - \gamma}{\alpha} \right)^{\beta-1} \bullet e^{-\left(\frac{t - \gamma}{\alpha} \right)^\beta}$$

Donde:

- ❖ t : Variable aleatoria que representa el tiempo.
 - ❖ β : Parámetro de forma ($0 < \beta < \infty$)
 - ❖ α : Parámetro de escala ($0 < \alpha < \infty$)
 - ❖ γ : Parámetro de localización ($-\infty < \gamma < \infty$)
-
- El parámetro beta, como su nombre indica, determina la forma — o perfil— de la distribución, la cual es función del valor de éste.
 - El parámetro alfa indica la escala de la distribución, es decir, muestra que tan aguda o plana es la función.
 - El parámetro gamma indica, en el tiempo, el momento a partir del cual se genera la distribución.

Una distribución biparamétrica está completamente definida por los parámetros de forma y de escala. La función confiabilidad $R(t)$ de Weibull se determina por la siguiente expresión:

$$R(t) = \int_s^{\infty} f(s)ds = e^{\left[-\left(\frac{t-\gamma}{\alpha}\right)^{\beta}\right]}$$

La función distribución acumulativa $F(t)$ es el complemento de la función confiabilidad y se define de la siguiente manera:

$$F(t) = 1 - R(t) = 1 - e^{\left[-\left(\frac{t-\gamma}{\alpha}\right)^{\beta}\right]}$$

De la expresión anterior, se concluye que la función distribución acumulativa se puede interpretar como la probabilidad de falla. La relación entre la función confiabilidad y la función probabilidad de falla se muestra en la *ilustración 3.5*.



Relación Confiabilidad y Probabilidad de Falla

Fuente: Técnicas de Mantenimiento Industrial

1.2.1. Método Mínimos Cuadrados para el Cálculo de Parámetros de Weibull.

Existen cinco métodos para calcular los parámetros de la distribución de Weibull:

- ◆ Mínimos cuadrados.
- ◆ Gráfico de la función tasa de falla.
- ◆ Máxima similitud.
- ◆ Estimación de momentos.
- ◆ Estimadores lineales.

El método que se presenta es el método de los Mínimos Cuadrados, por tres razones: la primera, es un método simple y expedito de aplicar; la segunda, la gráfica de los datos sirven como una prueba de bondad de ajuste de la distribución y, la tercera, da un indicio sobre si se debe calcular o no el parámetro de localización.

El método de los mínimos cuadrados permite calcular los parámetros de forma y escala, mediante la transformación doble logarítmica de la función de distribución acumulativa. El cálculo del parámetro de localización es más complejo, empleándose para ello rutinas de cálculo, como el programa Solver de Excel.

La transformación doble logarítmica permite transformar la función de distribución acumulativa en una ecuación lineal de regresión de la siguiente manera:

- ❖ A partir de la función acumulativa de Weibull

- $F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\alpha}\right)^\beta}$

- $\frac{1}{e^{\left(\frac{t-\gamma}{\alpha}\right)^\beta}} = 1 - F(t)$

$$\bullet \frac{1}{1-F(t)} = e^{\left(\frac{t-\gamma}{\alpha}\right)^\beta}$$

❖ Aplicando logaritmos naturales

$$\bullet \ln\left[\frac{1}{1-F(t)}\right] = \ln e^{\left(\frac{t-\gamma}{\alpha}\right)^\beta}$$

❖ Propiedad exponencial de los logaritmos.

$$\bullet \ln\left[\frac{1}{1-F(t)}\right] = \left(\frac{t-\gamma}{\alpha}\right)^\beta$$

❖ Aplicando logaritmos naturales.

$$\bullet \ln\left[\ln\left[\frac{1}{1-F(t)}\right]\right] = \beta \ln\left(\frac{t-\gamma}{\alpha}\right)$$

$$\therefore \ln\left[\ln\left[\frac{1}{1-F(t)}\right]\right] = \beta \ln(t-\gamma) - \beta \ln(\alpha)$$

❖ La cual es una recta de regresión, con:

$$\bullet y = \beta x - b$$

❖ Donde:

- $y = \ln \left[\ln \left[\frac{1}{1 - F(t)} \right] \right]$
- $x = \ln(t - \gamma)$
- $b = \beta \ln(\alpha)$

De la expresión anterior se concluye que el parámetro de forma, β , es la pendiente de la recta de regresión. Además que el parámetro de escala, α , está en función del intercepto b de la recta de regresión y del parámetro de forma; por lo tanto:

- $b = -\beta \ln(\alpha)$
- $-\frac{b}{\beta} = \ln(\alpha)$

$$\therefore \alpha = e^{-\frac{b}{\beta}}$$

Generalmente se considera un parámetro de localización igual a cero para encontrar el factor de forma y escala, sin embargo se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones al momento de analizar un parámetro de localización diferente de cero.

- a) Si al graficar los puntos de la muestra aparece una cola de puntos hacia arriba o hacia abajo, es un indicativo de que el parámetro de localización debe ser calculado.
- b) Una cola hacia abajo o una reducción súbita de la pendiente son indicativos de que un parámetro de localización positivo está presente.
- c) Una cola hacia arriba o un incremento súbito de la pendiente son indicativos de que un parámetro de localización negativo está presente. Un parámetro de

localización negativo se presenta cuando hay unidades con fallas en servicio, o unidades en servicio con defectos que causarían fallas. Ejemplos:

- Defectos originados durante el ensamble.
- Defectos originados durante el transporte.
- Defectos originados durante la instalación o montaje.
- Defectos originados durante el almacenamiento.

d) Valores grandes del parámetro de forma ($\beta > 10$) son otro indicativo de que el parámetro de localización debe ser calculado.

Para el cálculo del parámetro de localización (γ) se usará el complemento Solver de Excel, ya que debe ser determinado por ensayo y error.



Para empezar, se debe definir la celda cambiante que debe ser la celda donde se asignó el valor cero. Esta celda debe estar involucrada en una función.

El mejor estimador de γ es el valor de γ que proporcione el mejor ajuste de la línea de regresión de los datos muestrales. El coeficiente de determinación, r^2 , proporciona esta medida, ya que éste mide la cantidad de puntos que están relacionados linealmente y, por lo tanto, la celda que contenga este valor será la celda objetivo a maximizar — pues el objetivo es mejorar el ajuste de la recta de regresión—. Para iniciar el cálculo se debe indicar al programa un punto de inicio, o punto semilla, en la

celda cambiante. El mejor valor de inicio de γ es un valor ligeramente inferior al valor más bajo del tiempo entre fallas de la muestra. Es importante tener en cuenta que la celda objetivo debe contener una fórmula que relacione directa o indirectamente el valor de la celda cambiante.

Al hacer clic en el botón Resolver, de la ventana Parámetros de Solver, el parámetro de localización mejora el ajuste de la recta de regresión. De igual manera, los parámetros de forma y escala, y los valores de las abscisas y ordenadas se actualizan. Para que los valores se actualicen automáticamente, éstos deben estar relacionados por fórmulas.

Para poder trazar la recta de regresión, se debe calcular un estimador para la función de distribución acumulativa $F(x)$. Este estimador, llamado Rango de mediana, es un estimador no paramétrico basado en el orden de las fallas. Este aspecto implica que la muestra de datos se debe organizar de menor a mayor (en forma ascendente).

La expresión matemática para este estimador es:

$$W_a(X_i) = \frac{\frac{i}{n-i+1}}{F_{1-\alpha, 2(n-i+1), 2i} + \frac{i}{n-i+1}}$$

Donde:

- ❖ $W_a(X_i)$ = Rango de mediana para un nivel de confianza $(1-\alpha)$, donde α es el nivel de significancia y toma el valor de 0.5 para este estimador.
- ❖ i = Orden de la Falla
- ❖ n = Número total de datos de la muestra
- ❖ $F_{\alpha, v1, v2}$ = Valor crítico de la distribución F, evaluada en el nivel de significancia α y con grados de libertad $v1$ y $v2$.

Dada la complejidad de esta ecuación, generalmente el rango de mediana se aproxima mediante la siguiente expresión, exacta dentro de 0.005:

$$RM(x_i) = \frac{i - 0.3}{n + 0.4}$$

Donde:

- ❖ $RM(x_i)$ = Rango de Mediana
- ❖ i = Orden de Falla
- ❖ n = Número total de datos de la muestra.

1.3. Confiabilidad de Sistemas

La confiabilidad es función de la complejidad del sistema. Entonces es fundamental establecer esta relación para cada configuración. En otras palabras se trata de definir la forma en que cada componente individual afecta el buen funcionamiento del sistema:

$$R_s(t) = f(R_i(t)) \quad i = 1, 2, 3, \dots, n$$

Donde $R_s(t)$ representa la confiabilidad del sistema y $R_i(t)$ la de cada uno de los n elementos componentes del sistema. La importancia de la confiabilidad del conjunto viene dada por lo siguiente:

- Si se conoce el comportamiento de cada componente se puede deducir el comportamiento del sistema.
- Es posible jerarquizar sobre la base de componentes críticos.
- Evaluar el efecto de una mantención de un componente sobre el sistema.

- Orientar las estrategias de mantenimiento para el sistema.
- Analizar y disponer las acciones correctivas más eficaces.
- Proyectar los sistemas con características óptimas mediante la duplicación de algunas funciones.

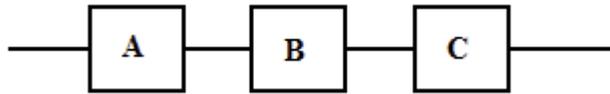
La confiabilidad de un sistema no es otra cosa que la probabilidad de ocurrencia del acontecimiento “no falla” que, a su vez, es el resultado del comportamiento de los componentes individuales, en consecuencia, las reglas aplicables a la combinación de confiabilidad en sistemas, son las aplicables a la combinación de probabilidades de elementos.

Es importante para el análisis de sistemas el grado de independencia o de dependencia entre los distintos elementos que lo componen, por lo que es necesario considerar los dos casos siguientes:

- La falla de un elemento constituyente de un sistema es casual y estadísticamente independiente del hecho de que se produzca una falla en otro elemento del sistema.
- La definición entre el estado de funcionamiento y el de falla es dependiente (o no) del modo en que funcionen las otras partes del sistema.

Estos casos obligan a establecer cuidadosamente la subdivisión del sistema para satisfacer el último caso. El funcionamiento de un sistema desde el punto de vista de confiabilidad se representa gráficamente mediante esquemas de bloques adecuadamente conectados entre sí, en los que cada bloque representa un subsistema o componente.

De acuerdo a lo anterior, se define como *sistema en serie* cuando la falla de uno de sus elementos (cualquiera), que ha de considerarse como un acontecimiento independiente, determina la falla del sistema e un conjunto (Ilustración 3.6).



Sistema en Serie

Fuente: Manual de Gestión de Activos y Mantenimiento

La confiabilidad del sistema en serie corresponde a la probabilidad de que todos los elementos (o subsistemas) no fallen en un tiempo determinado. Esta probabilidad viene dada por la multiplicación de las probabilidades de un buen funcionamiento de todos los subsistemas en el periodo de tiempo dado. Si consideramos un sistema compuesto por n elementos, tenemos:

$$R_s(t) = R_1(t) R_2(t) \dots R_n(t) = \prod_{i=1}^n R_i(t)$$

Donde $R_s(t)$ y $R_i(t)$ indican la confiabilidad del sistema y de cada elemento o subsistema respectivamente. Desarrollando la expresión podemos escribir:

$$R_s(t) = e^{-\int \lambda_s(t) dt} = \prod_{i=1}^n R_i(t) = \prod_{i=1}^n e^{-\int \lambda_i(t) dt}$$

Donde $\lambda_s(t)$ y $\lambda_i(t)$ representan respectivamente la tasa de fallas del sistema y de cada elemento o subsistema en particular.

De la relación anterior se puede deducir lo siguiente:

$$\lambda_s(t) = \sum_{i=1}^n \lambda_i(t)$$

Si las tasas de fallas de los subsistemas o elementos fuesen constantes también lo serían las del sistema completo. Así la relación sería la siguiente:

$$R_s(t) = e^{-\lambda_s t} = e^{-\sum_{i=1}^n \lambda_i t}$$

Donde:

$$\lambda_s = \sum_{i=1}^n \lambda_i$$

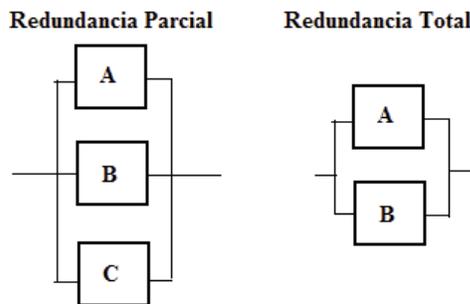
Además para $\lambda_i = \text{constante}$, se tiene:

$$MTBF_i = \frac{1}{\lambda_i}; MTBF_s = \frac{1}{\lambda_s}$$

Cuando un elemento o sistema se encuentra en la etapa de madurez (tasa de falla constante) se facilitan en gran medida los cálculos.

Otra configuración bastante común desde la perspectiva de lógica de falla, es la configuración en paralelo. Estos sistemas forman parte de los llamados sistemas redundantes, en donde algunas funciones están duplicadas o triplicadas (en general multiplicadas) con el fin de obtener una mayor confiabilidad de los sistemas.

En términos generales existen dos tipos de redundancia en paralelo. (*Ilustración 3.7*)



Sistemas en Paralelo.

Fuente: Manual de Gestión de Activos y Mantenimiento

Para determinar la confiabilidad del sistema con redundancia total, al igual que los sistemas en serie, se basa en las leyes del cálculo de las probabilidades, es decir evaluando los escenarios de buen funcionamiento del sistema.

En la *ilustración 3.8* se representan los eventos del buen funcionamiento de un sistema en paralelo con redundancia total de los elementos (A y B).

Elemento A	Elemento B	Probabilidad del Sistema
1.-Funciona	Funciona	Funciona $R_A \cdot R_B$
2.-Funciona	No funciona	Funciona $R_A \cdot (1 - R_B)$
3.-No funciona	Funciona	Funciona $(1 - R_A) \cdot R_B$

Escenarios de buen funcionamiento de un sistema en paralelo redundancia total

Fuente: Manual de Gestión de Activos y Mantenimiento

Debido a que los escenarios de buen funcionamiento son independientes entre sí, la probabilidad de buen funcionamiento del sistema queda definida por la suma de los eventos antes mencionados.

Una forma de simplificar estos cálculos de mucha utilidad cuando existen más de dos elementos constituyentes del sistema, es analizar la probabilidad de falla del mismo.

La probabilidad de falla ($F(t) = 1 - R(t)$) de un sistema en paralelo, de acuerdo a las definiciones dadas anteriormente (considerando independencia entre los elementos de un sistema), considera que la falla del sistema ocurre cuando fallan simultáneamente todos los elementos que lo componen. Por lo tanto se tiene:

$$F_s(t) = F_1(t) \cdot F_2(t) \cdot \dots \cdot F_n(t) = \prod_{i=1}^n F_i(t)$$

De acuerdo a lo anterior la confiabilidad del sistema se puede escribir como:

$$R_s(t) = 1 - F_s(t) = 1 - \prod_{i=1}^n F_i(t)$$

En el caso particular de un sistema en paralelo *redundancia total* de dos elementos iguales (A y B):

$$R_A = R_B = e^{-\lambda t} \quad R_s(t) = 2e^{-\lambda t} - e^{-2\lambda t} \quad MTBF_s = \int_0^{\infty} R_s(t) dt = \frac{3}{2\lambda}$$

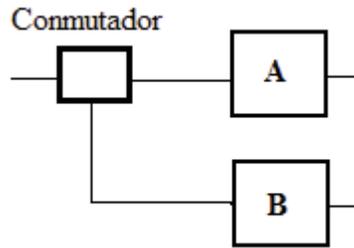
Por lo tanto el tiempo entre falla del sistema es superior a un 50% al de sus componentes individuales.

En el caso de sistemas en paralelo con *redundancia parcial*, una cierta combinación mínima de los elementos debe estar en operación para que el sistema funcione. La confiabilidad viene dada por:

$$R_s = P(r \leq j \leq n) = \sum_{j=r}^n \binom{n}{j} R^j (1-R)^{n-j}$$

Donde $R(t)$ es la confiabilidad para un determinado tiempo (t) en un sistema compuesto por n elementos iguales, de los cuales se requiere r en un buen funcionamiento para que el sistema funcione.

Otro caso de redundancia comúnmente utilizado son los denominados *sistemas en stand by*. Consiste en que en un instante determinado funciona solo uno de los elementos del sistema, mientras que los restantes permanecen en reserva en estado de espera (stand by). En consecuencia, en este caso la conexión funcional varía en el tiempo en función de la aparición de la falla.

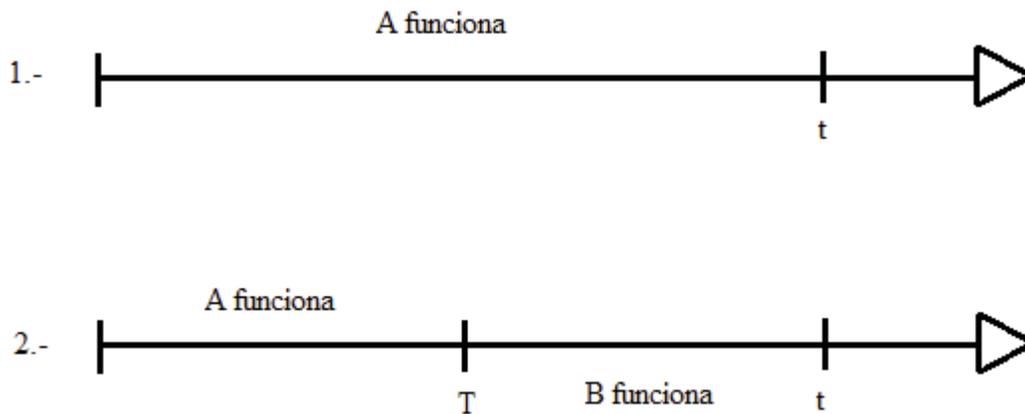


Sistemas en stand by

Fuente: Manual de Gestión de Activos y Mantenimiento

La variación de la conexión está a cargo de un elemento de decisión o conmutación (representada por el conmutador en la *ilustración 3.9*), que cambia la conexión de un componente a otro cuando el que está en operación presenta una condición de falla, y que podría ser, por ejemplo, la intervención de un operador.

Considerando un sistema como el mostrado en la *ilustración 3.9*, compuesto por dos elementos A y B, la evaluación de la confiabilidad $R_s(t)$ del sistema se desarrolla considerando los escenarios presentados en la ilustración 3.10.



Escenarios de funcionamiento de un sistema en stand by

Fuente: Manual de Gestión de Activos y Mantenimiento

El elemento A se encuentra normalmente bajo carga, mientras que B interviene solamente cuando A falla. Considerando que la confiabilidad del elemento de

conmutación es de 100%, en el análisis de la confiabilidad del sistema en el tiempo "t", se deben considerar los casos en que el sistema se encuentra en buen funcionamiento:

- A funciona al tiempo "t"
- A falla en "T" y B funciona desde t=T hasta el tiempo "t"

Ambas situaciones se encuentran esquematizadas en la ilustración 3.10.

La probabilidad que corresponde a cada uno de los eventos descritos anteriormente (mutuamente excluyentes), está dada por:

$$1. - R_A(t)$$

$$2. - \int_0^t f_A(T) R_B(t-T) dT$$

En consecuencia se puede establecer la confiabilidad del sistema $R_S(t)$ como:

$$R_S(t) = R_A(t) + \int_0^t f_A(T) R_B(t-T) dT$$

Si consideramos además la situación particular $\lambda_A = \lambda_B = \lambda = \text{constante}$, se tiene:

$$R_S(t) = e^{-\lambda t} (1 + \lambda t)$$

Como consecuencia lógica de lo anterior el tiempo medio entre fallas, estaría dado:

$$MTBF_s = \frac{2}{\lambda_i}$$

Con lo que se obtiene un MTBF para el sistema que duplica, para este caso de dos elementos, la correspondiente esperanza de vida de cada uno de los elementos de este sistema.

El cálculo anterior no considera el efecto de la falla del conmutador. Al considerarlo el diagrama lógico correspondiente sería el de una configuración en serie del elemento conmutador con el sistema evaluado anteriormente (stand by de los elementos). Esto es debido a que la falla de cualquiera de estos dos subsistemas provocaría la falla del sistema total, por lo tanto la confiabilidad del sistema quedaría expresada como:

$$R_s'(t) = R_c(t) \times R_s(t)$$

Donde:

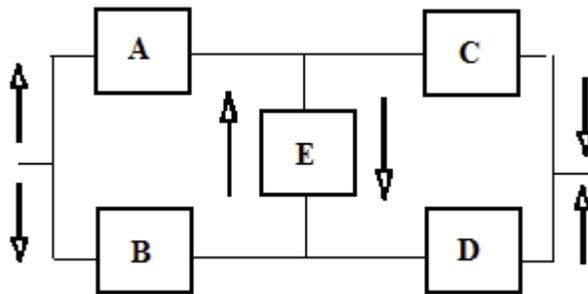
- ❖ $R_s'(t)$: Confiabilidad global del sistema.
- ❖ $R_c(t)$: Confiabilidad del elemento conmutador.
- ❖ $R_s(t)$: Confiabilidad del subsistema en *stand by*.

Cabe señalar que existen dos tipos de redundancia en stand by; en frío y en caliente. La primera de ellas considera que el equipo de “reserva” no está en operación, y al recibir la señal de entrar en acción existe un tiempo de preparación que demora el funcionamiento en estado estacionario del mismo. La ventaja de la configuración stand by en frío es que el equipo de reserva no sufre desgaste mientras está en estado de espera y por ende no pierde confiabilidad. Por otro lado la configuración stand by caliente es que el tiempo en llegar a operación en estado estacionario es corto, con el inconveniente del desgaste y pérdida de confiabilidad respecto de la configuración en stand by frío.

El procedimiento desarrollado anteriormente para el cálculo de la confiabilidad de un sistema en stand by, corresponde a una configuración en stand by frío.

No siempre los sistemas se pueden describir fácilmente sobre la base de las configuraciones descritas anteriormente, en este caso, estos sistemas son designados como *sistemas complejos*.

Existen modelos y técnicas de evaluación para determinar los índices de confiabilidad de tales sistemas. Un ejemplo de sistema complejo es el mostrado en la ilustración 3.11, donde claramente se ve que los componentes no están conectados en un arreglo simple en serie ni en paralelo.



Ejemplo de sistemas complejos

Fuente: Fundamentos del análisis de Weibull

Existen técnicas disponibles para resolver este tipo de sistemas, tales como la aproximación por probabilidad condicional, análisis de *cut set*, diagramas de árbol, matriz de conexión, etc.

Muchas de estas técnicas son métodos formales para transformar la lógica de operación del sistema, a una estructura que consiste solo de componentes, ramas o pasos en serie y paralelo.

Dentro de los mencionados el *método cut set* es una poderosa herramienta para la evaluación de confiabilidad de un sistema:

- Puede ser fácilmente programado por un computador, permitiendo una solución rápida y eficiente de cualquier tipo de configuración.
- Los *cut set* están directamente relacionados a los modos de falla del sistema, y de esta manera identifican los distintos y discretos caminos en los cuales un sistema puede fallar.

Un *cut set* se define como un conjunto del sistema, los cuales, cuando fallan causan la falla del sistema. Un *cut set* mínimo es el conjunto de elementos, que al fallar ocasionan la falla del sistema pero basta que uno de ellos este bueno para que el sistema funcione.

Para evaluar la confiabilidad del sistema los *cut set* mínimos identificados de la malla deben ser combinados. De la definición anterior, es evidente que todos los componentes de cada corte deben fallar para que el sistema falle. Consecuentemente, los componentes del *cut set* mínimo están conectados e paralelo y las probabilidades de falla de los componentes en él deben ser combinadas utilizando el principio de sistemas en paralelo. En adición, el sistema falla si cualquiera de los *cut set* mínimos ocurre y consecuentemente, cada set está conectado en serie con los otros *cut set* mínimos identificados en el sistema.

Otro método bastante difundido para el análisis de confiabilidad de sistemas complejos es el denominado *árbol de fallas*.

Este método consiste en definir un esquema lógico secuencial asociado al sistema bajo análisis, para esto se utiliza la representación de árbol jerarquizando los distintos acontecimientos según la simbología siguiente (Ilustración 3.12)

	Acontecimiento primario generalmente denominada efecto básico
	Acontecimiento secundario, resulta de la combinación lógica de otros acontecimientos.
	Acontecimiento primario cuyas causas son desconocidas o no hay interés en desarrollar
	Cadena de acontecimientos analizada
	Gate or Operación lógica que da señal de salida con al menos un acontecimiento de entrada
	Gate and operación lógica que da señal de salida al ocurrir todos los acontecimientos de entrada
	Priority and gate indica que el acontecimiento de salida ocurre solamente si las entradas acontecen en la secuencia descrita.

Selección de elementos comúnmente utilizados

Fuente: Manual de Gestión de Activos y Mantenimiento

Las ventajas de este método son que la representación es inmediata desde el punto de vista lógico y formal, y es de fácil modificación permitiendo evaluar distintas modificaciones del sistema.

Si la confiabilidad obtenida no es satisfactoria, observando el árbol de falla se puede modificar identificando y mejorando los elementos que condicionan la continuidad operacional del sistema.

Anexo 11

Manual Usuario Software de Mantenimiento