

**Universidad de Valparaíso
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil Industrial**



**Diseño de un Plan de Mantenimiento Basado en
Confiabilidad
para Área Steelastic de Goodyear de Chile S.A.I.C.**

Por

**Catalina Dominique Oddó Jara
Astrid Silvana Tapia Concha**

Trabajo de Título para Optar al Grado de Licenciado en
Ciencias de la Ingeniería y Título de Ingeniero Civil Industrial

Prof. Guía Aldo Cea Ramírez

Mayo, 2017

Agradecimientos

Al finalizar esta etapa tan importante en mi vida, quisiera agradecer principalmente a mis padres, Astrid y Gonzalo, por apoyarme y esforzarse día a día, por estar presentes en mi vida y darme su cariño, paciencia y dedicación, por brindarme las herramientas necesarias para terminar este ciclo, sé que se presentaron momentos difíciles pero nunca se dieron por vencidos y se los agradezco infinitamente, lo que soy, se lo debo a ustedes.

Agradecer a Pablo, mi pequeño, sé que muchas veces me necesitó, que muchas veces no presté la atención suficiente, pero como un niño grande y fuerte que es, comprendió que era por un futuro mejor para ambos, él es lo más grande e importante en mi vida.

Agradecer a mi hermana, Karina, por toda la ayuda que me prestó durante este largo camino, por su entrega fraternal, por su cariño y apoyo.

Gracias también a mi pareja, Camilo, a mi familia y amigos por estar presentes y ser parte de esta larga pero linda historia.

A mis compañeros de carrera y amigos en especial, gracias por estar siempre que los necesité, siempre dispuestos a ayudarme y contagiando felicidad, gracias por sus risas, los llevo en mi corazón.

A mis compañeras de futbolito damas UV y profesora, por escucharme, entenderme y compartir mi pasión por el fútbol, fue un gran gusto conocerlas y las llevaré siempre conmigo.

A mi compañera Catalina por todos los altos y bajos a lo largo de este trabajo, costó pero lo logramos.

Agradecer a la empresa Goodyear y al personal por toda la ayuda brindada, especialmente a cada una de las personas pertenecientes al área de steelastic que siempre estuvieron dispuestos a ayudarme y resolver mis dudas, a Juanito Arias, Esteban González, Rodrigo Gorioitía y Patricio León.

Agradecer a Dios, por todo lo vivido y aprendido, por iluminar mi camino y ser mi fiel guía.

Quiero dedicar este trabajo a mis dos abuelas, Zunilda Calderón y Semiramis Covarrubias, las amo y sé que desde el cielo conducen cada uno de mis pasos.

Astrid Tapia.

Agradecimientos

A mis padres, Angélica y Eugenio, por el apoyo incondicional, por las enseñanzas de vida, sus valores y motivación para seguir adelante con mis sueños y por sobre todo, por el amor incondicional que siempre me han entregado. Por el apoyo en los momentos de flaqueza durante mis años de estudio y en el proceso de realización de este proyectos donde fue fundamental tenerlos a mi lado.

A mis hermanos que han estado siempre para escucharme y apoyarme. Por siempre creer en mi y mis aptitudes, durante mis años de estudio y para lograr la realización y término de este proyecto.

A Carmen, mi tía, que en todos mis años de estudio ha sido un gran apoyo, por sus consejos y motivación a lo largo de esta etapa.

A Gustavo, por su gran amor, apoyo incondicional y motivación entregada durante todos estos años, en especial para el término de este proyecto

A mis amigos, por estar siempre a mi lado compartiendo experiencias, conocimientos y apoyo.

A mi compañera Astrid por su amistad, apoyo y motivación durante la realización de este proyecto.

A Dios por entregarme sabiduría y permitir que hoy llegue a este momento de triunfo. Por entregarme todas las herramientas para superar todos los obstáculos que tuvo este proceso y los que he tenido en la vida.

Dominique Oddó.

Índice

Abreviaturas y Glosario	8
Índice de Figuras	9
Índice de Gráficos	10
Índice de Tablas	11
RESUMEN	13
ABSTRACT	14
Capítulo I. Introducción	15
1.1 Introducción al proyecto	15
1.2 Identificación y definición del problema	16
1.3 Objetivos del proyecto	17
Capítulo II. Marco teórico	18
2.1 Mantenimiento	18
2.1.1 Correctivo o Curativo	18
2.1.2 Preventivo	19
2.1.3 Predictivo	19
2.1.4 Overhaul (Cero Horas)	19
2.1.5 En Uso	19
2.2 Fallas	19
2.2.1 Clasificación de las Fallas	20
2.2.2 Causas de las Fallas	20
2.3 Confiabilidad	21
2.3.1 Confiabilidad de un sistema	21
2.3.2 Confiabilidad operacional	21
2.4 Mantenimiento centrado en la confiabilidad, RCM	23
2.4.1 Qué es RCM	23
2.4.2 Evolución del RCM	23
2.4.3 Objetivos del RCM	25
2.4.4 Fases del RCM	26
2.5 Eficiencia General de los Equipos, OEE	31
2.5.1 Beneficios	31

2.5.2	¿Cómo se calcula el OEE?	31
2.5.3	OEE y Lean Manufacturing	32
2.5.4	¿Cómo mejorar con el OEE?	33
2.6	Tiempo medio entre fallas (MTBF)	33
2.7	Distribución de Weibull	34
Capítulo III. Antecedentes de la Empresa		35
3.1	Historia de Goodyear	35
3.2	Estrategia actual de la empresa	36
3.3	Bienes y servicios	38
3.4	Organigrama general de la empresa	39
3.5	Localización	41
3.6	Clientes y Proveedores	42
3.7	El mercado	42
3.8	Otras Áreas de la Empresa	43
Capítulo IV Departamento de Mantenición.		45
4.1	Descripción del Departamento de Mantenición	45
4.1.1.	Funcionamiento del Mantenimiento Correctivo en Steelastic	46
4.1.2.	Funcionamiento del Mantenimiento Preventivo en Steelastic	48
Capítulo V Situación actual.		50
5.1.	Descripción del proceso productivo del área Steelastic	50
5.2.	Composición del Equipo, Steelastic	51
5.3.	Análisis de causas del problema	53
5.4.	El OEE de Steelastic	54
5.5.	Costos de Mantenciones Correctivas	55
5.5.1	Gastos Directos de Reparaciones en Steelastic	56
5.5.2	Gastos de Mano de Obra y Artefactos	57
5.6.	Historial de Fallos	58
5.7.	Análisis de Pareto	58
5.7.1	Desarrollo del Procedimiento para el Análisis de Pareto	59
5.7.2	Diagrama de Pareto	59
5.8.	Análisis de Criticidad	60
5.8.1	Aplicación del Análisis de Criticidad	60
5.8.2	Criterios Utilizados para el Estudio de Criticidad	61
5.8.3	Matriz de Criticidad por Factores	65

5.8.4	Análisis de Criticidad para el subsistema Mesa de Corte y Empalme	66
Capítulo VI.	Situación Propuesta	69
6.1	Desarrollo del método Análisis Modal de Fallos y Efectos (AMFE).....	69
6.2	Plan general de mantenimiento	71
6.2.1	Objetivos del Plan General de Mantenimiento	71
6.2.2	Plan de Mantenimiento Preventivo	72
6.2.2.1	Distribución de Weibull.....	73
6.2.2.2	MTBF (Mean Time Between Failures o tiempo medio entre fallas).....	74
Capítulo VII.	Evaluación económica de la situación propuesta.....	75
7.1	Análisis económico	75
7.1.1	Situación Actual	76
7.1.2	Situación para propuesta N°1	78
7.1.3	Situación propuesta N°2.....	80
Capítulo VIII.	Plan de implementación	83
Capítulo IX.	Conclusiones y recomendaciones.....	83
9.1	Alternativas para evitar choque de PORTARAM con CORTADOR	83
9.2	Cómo combatir la alta vibración de la máquina Steelastic	93
Bibliografía	100
Anexos	102
Anexo 1:	Descripción del proceso productivo del Neumático.....	102
Introducción.....	102	
Composición del Neumático	102	
Partes del Neumático	104	
Proceso de Fabricación del Neumático	105	
Anexo 2:	Historial de fallos	113
Anexo 3:	Cálculo de la criticidad.....	116
Anexo 4:	Gráficas y tablas de Minitab para cálculo de frecuencia	117
Anexo 5:	Tablas para el Análisis modal de fallos y efectos.....	126

Abreviaturas y Glosario

- AFNOR: Association française de Normalisation (Asociación Francesa de Normalización).
- Batch: Lote de láminas de caucho procesado.
- Blooming: Breaker defectuoso ocasionado por cambios bruscos de temperatura. El azufre sale a la superficie y el compuesto se pone de color blanco.
- Breaker: Parte del neumático que consta de varias tiras de acero recubiertas de goma.
- FCR: Factor Costo de Reparación.
- FIA: Factor Impacto Ambiental.
- FIP: Factor Impacto en la Producción.
- FIS: Factor Impacto en la Seguridad.
- FTD: Factor Tiempo de Detención.
- Gumstrip: Huincha de caucho que se aplica en el borde del Breaker, para dar una mayor rigidez y tolerancia a la temperatura.
- HH: Horas Hombre.
- JIT: Just in Time (Justo a Tiempo).
- MTBF: Mean Time Between Failures, en español es tiempo medio entre fallas
- OEE: Overall Equipment Effectiveness (Eficiencia Global del Equipo).
- OPE: Overall Plant Effectiveness (Eficiencia Global de la Planta).
- RCM: Reliability Centred Maintenance (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad/Fiabilidad).
- SMED: Single Minute Exchange of Die (Cambio de Pieza en menos de diez minutos).
- TPM: Total Productive Maintenance (Mantenimiento Productivo Total).
- Spool: Carrete de gran tamaño, donde es enrollado el Breaker.

Índice de Figuras

Figura 1:	Nuevos modelos de fallas.	24
Figura 2:	Estructura arbórea.....	26
Figura 3:	Análisis de criticidad de fallo. Fallo crítico.....	28
Figura 4:	Análisis de criticidad de fallo. Fallo importante.	28
Figura 5:	Medición del OEE.....	31
Figura 6:	Estructura Organizacional de Goodyear de Chile S.A.I.C.....	39
Figura 7:	Mapa de Localización Goodyear Chile.....	42
Figura 8:	Organigrama Departamento Mantenición de Calandras y Cortadoras.	45
Figura 9:	Diagrama de Flujo Actualizado en Caso de Mantenición Correctiva en Steelastic.....	47
Figura 10:	Diagrama de Flujo de Mantenición Preventiva en Steelastic.....	48
Figura 11:	Diagrama de Mantenición Preventiva basado en responsabilidades de cada Cargo.....	49
Figura 12:	Equipo Steelastic.....	51
Figura 13:	Aplicador de Huincha.	51
Figura 14:	Vista lateral Creel.	51
Figura 15:	A la izquierda vista superior Extrusora.....	52
Figura 16:	A la derecha vista lateral Extrusora.....	52
Figura 17:	Vista lateral mesa de corte y empalme.	52
Figura 18:	Vista lateral Rodillos enfriadores.....	52
Figura 19:	Diagrama causa - efecto.	53
Figura 20:	PLC SLC 500, Allen-Bradley	84
Figura 21:	Funcionamiento Sensor Inductivo de Proximidad	85
Figura 22:	Muestra de sensor Inductivo de Proximidad	85
Figura 23:	Piezas Limit Switch	87
Figura 24:	Modelo Limit Switch	87
Figura 25:	Modelo Sensor Fotoeléctrico.....	89
Figura 26:	Funcionamiento Sensor Fotoeléctrico.....	89
Figura 27:	Cuchillo abajo, sensor no detecta el metal por tanto su señal es de NO OK..	92
Figura 28:	Cuchillo arriba en posición correcta, por tanto, sensor envía señal de OK.....	92
Figura 29:	Instalación del cable del sensor al PLC.	93
Figura 30:	Niveles de vibración permisible (RMS) para daño estructural, percepción humana y vibración de maquinaria.	94

Figura 31:	Modelos de estructuras con aislamiento.	96
Figura 32:	Ruido de la estructura de los conjuntos de bombas.	97
Figura 33:	Aislamiento de vibraciones de los conjuntos de bombas.	97
Figura 34:	Sistema Masa-resorte con un absorbedor dinámico de vibraciones.	98
Figura 35:	Partes del Neumático.	104
Figura 36:	Disposición de Materias Primas en el Mixer.	105
Figura 37:	Plataformas con láminas de goma.	106
Figura 38:	Etapa de Mezclado.	107
Figura 39:	Etapa de Extrusión.	107
Figura 40:	Etapa de Construcción de Pestañas.	108
Figura 41:	Esquema básico de una línea de calandrado.	108
Figura 42:	Etapa de Construcción del Neumático en Verde.	109
Figura 43:	Etapa de Vulcanización de Neumático en Verde.	110
Figura 44:	Etapa de Inspección del Neumático.	111
Figura 45:	Etapa de Rayos X.	111
Figura 46:	Diagrama de Fabricación de Neumáticos.	112

Índice de Gráficos

Gráfico 1:	Composición del mercado de neumáticos para pasajeros en Chile.	43
Gráfico 2:	OEE desglose de Steelastic#2 correspondiente a 2014.	54
Gráfico 3:	Escala OEE Steelastic #2 año 2014.	55
Gráfico 4:	Escala OEE Steelastic #2 año 2014.	55
Gráfico 5:	Diagrama de Pareto.	59
Gráfico 6:	Cálculo de Criticidad.	68
Gráfico 7:	Esfuerzo v/s Deformación del Caucho Natural y Natural Vulcanizado.	110
Gráfico 8:	Probabilidad para Falla eléctrica BOMBA DE VACIO.	117
Gráfico 9:	Probabilidad para Falla eléctrica BOMBA DE VACIO.	118
Gráfico 10:	Probabilidad para Desajuste de TUBOS DE VACIO.	119
Gráfico 11:	Probabilidad para Desajuste de TUBOS DE VACIO.	120
Gráfico 12:	Probabilidad para Desajuste de TUBOS DE VACIO.	121
Gráfico 13:	Probabilidad para Quiebre de RAM.	122
Gráfico 14:	Probabilidad para Quiebre de RAM.	123

Gráfico 15:	Probabilidad para Falla eléctrica de RAM	124
Gráfico 16:	Probabilidad para Falla eléctrica de RAM	125

Índice de Tablas

Tabla 1:	Clasificación de las Fallas.	20
Tabla 2:	Resumen de la Evolución de RCM.	23
Tabla 3:	Tipos de tareas de mantenimiento.	29
Tabla 4:	Descripción de productos	38
Tabla 5:	Resumen OEE área Steelastic año 2014.....	54
Tabla 6:	Gastos Directos de Reparaciones en Steelastic año 2014	56
Tabla 7:	Gastos Mano de Obra y Artefactos durante el 2014	57
Tabla 8:	Pareto para fallas	59
Tabla 9:	Frecuencia de fallas	61
Tabla 10:	Valoración de las consecuencias	62
Tabla 11:	Valoración de Factor Costo de Reparación	63
Tabla 12:	Valoración de Factor Tiempo de Detención	63
Tabla 13:	Valoración de Factor Impacto en Seguridad	64
Tabla 14:	Valoración de Factor Impacto en Seguridad	64
Tabla 15:	Factor impacto en la Producción	65
Tabla 16:	Matriz de Criticidad.....	65
Tabla 17:	Resumen de Cálculo de Criticidad para Mesa de Corte y Empalme.	67
Tabla 18:	Análisis Modal de Fallos y Efectos para RAM.....	70
Tabla 19:	Análisis Modal de Fallos y Efectos para PORTA CUCHILLO.	70
Tabla 20:	Plan de Mantenimiento Preventivo.....	72
Tabla 21:	Porcentajes y probabilidades para Quiebre de RAM.	73
Tabla 22:	Porcentajes y probabilidades para Falla eléctrica de RAM.....	74
Tabla 23:	Cálculo de MTBF (Tiempo medio entre fallas).....	74
Tabla 24:	Cálculo de valor mano de obra por hora	75
Tabla 25:	Cálculo costos totales situación actual.....	76
Tabla 26:	Cálculo costos situación actual mensual.....	76
Tabla 27:	Cálculo costos asociados a scrap, situación actual	77
Tabla 28:	Ingresos por máquina disponible situación actual mensual	77

Tabla 29:	Ingresos versus costos, situación actual	78
Tabla 30:	Cálculo costos totales situación propuesta N°1	78
Tabla 31:	Cálculo costos situación propuesta N°1	79
Tabla 32:	Ingresos por máquina disponible situación propuesta N°1	79
Tabla 33:	Ingresos por máquina disponible situación propuesta N°1	80
Tabla 34:	Ingresos versus costos, situación propuesta N°1.....	80
Tabla 35:	Cálculo costos totales situación propuesta N°2	80
Tabla 36:	Cálculo costos situación propuesta N°2	81
Tabla 37:	Ingresos por máquina disponible situación propuesta N°2	81
Tabla 38:	Ingresos por máquina disponible situación propuesta N°2	82
Tabla 39:	Ingresos versus costos, situación propuesta N°2.....	82
Tabla 40:	Ventajas/Desventajas de Sensor Inductivo de Proximidad.....	86
Tabla 41:	Ventajas/Desventajas de Interruptores de Final de Carrera	88
Tabla 42:	Ventajas/Desventajas de Sensores fotoeléctricos	91
Tabla 43:	Composición de un Neumático según tipo de Vehículo.....	103
Tabla 44:	Calculo de Criticidad	116
Tabla 45:	Porcentajes y probabilidades para Falla eléctrica BOMBA DE VACIO.....	117
Tabla 46:	Porcentajes y probabilidades de Quiebre de TUBOS DE VACIO.....	118
Tabla 47:	Porcentajes y probabilidades de Desajuste de TUBOS DE VACIO.....	119
Tabla 48:	Porcentajes y probabilidades de Quiebre de PORTA RAM	120
Tabla 49:	Porcentajes y probabilidades de Desajuste de PORTA RAM	121
Tabla 50:	Porcentajes y probabilidades para Quiebre de RAM	122
Tabla 51:	Porcentajes y probabilidades para Desajuste de RAM	123
Tabla 52:	Porcentajes y probabilidades para Falla eléctrica de RAM.....	124
Tabla 53:	Porcentajes y probabilidades para CORREA DE EMPALME	125
Tabla 54:	Análisis Modal de Fallos y Efectos para PORTA RAM.	126
Tabla 55:	Análisis Modal de Fallos y Efectos para CORREA DE EMPALME.....	126
Tabla 56:	Análisis Modal de Fallos y Efectos para TUBOS VACÍO.	127
Tabla 57:	Análisis Modal de Fallos y Efectos para BOMBA DE VACÍO.	127
Tabla 58:	Análisis Modal de Fallos y Efectos para CUCHILLO.	128

RESUMEN

Goodyear es una empresa que, dentro de sus múltiples focos de negocio, se dedica principalmente al proceso de fabricación, venta y distribución de neumáticos para transporte y maquinaria industrial, se ha constituido como un líder mundial en la industria manufacturera. Su presencia en múltiples plantas en Europa, Asia y América, incluyendo nuestro país, ha sido resultado de la aplicación de estrategias de negocio orientadas a la eficiencia de sus procesos. En forma particular, la planta de Chile ha experimentado en la última década un proceso de actualización de sus máquinas, sin embargo, no ha logrado aún ver impactado dicha inversión en los niveles de eficiencia esperados, aspecto ligado a la falta de control y seguimiento de sus activos físicos.

La gestión de los activos físicos de toda empresa es un aspecto clave en el desarrollo de sus procesos productivos. Una correcta administración de tales recursos es capaz de otorgar importantes ventajas competitivas en un desarrollo industrial que está avanzando hacia la ruta de lo eficiente. Específicamente, la industria manufacturera cuenta con múltiples procesos que comprenden la transformación de materias primas hasta un producto final terminado para los cuales se hace imprescindible contar con sistemas robustos capaces de prevenir y contrarrestar las diversas contingencias que presenten ciertas subetapas. La carencia de estos sistemas promueve la generación de respuestas reactivas que conducen a la detención del proceso productivo y, en ocasiones, involucra la generación de reparaciones mayores de alto costo en tiempo perdido y repuestos en las máquinas.

La baja disponibilidad de Breaker, es generada en su mayoría por los tiempos perdidos en detenciones no programadas por fallos, siendo este el en foque de mejora para esta memoria. Esta problemática tiene relación con un plan de mantenimiento que no está siendo adecuado, genera muchas detenciones y costos relacionados.

La propuesta corresponde al diseño de un plan de mantenimiento basado en confiabilidad en el área de steelastic de la empresa Goodyear de Chile S.A.I.C., subetapa del proceso, correspondiente a la fabricación de uno de sus componentes denominado breaker, elección definida de acuerdo al costo de sus insumos y la eficiencia global de las máquinas (*Overall Equipment Effectiveness*, OEE en inglés).

El diseño propuesto considera, entre otros aspectos, información acerca del funcionamiento de las máquinas e historial de fallas. La propuesta permite reducir en un 50% las fallas por detenciones no programadas y los costos de estas.

ABSTRACT

As part of its several business units, passenger and off-the-road (OTR) tire manufacturing, selling and distribution is one of the main activities done by Goodyear. Considered as one of the worldwide recognized brands inside manufacturing industry with presence inside Europe, Asia and America -including Chile-, this company has achieved its position due to the introduction of business strategies aimed at its process efficiency. Specifically, Chile plant has experienced a technological change during the last decade through the installation of more efficient tire building and curing presses machines. However, this investment has not reach the expected process efficiency yet, aspect that it is related to a lack of control and follow-up of its physical assets.

Physical assets management is a key aspect in productive process development inside any company. A correct management of such resources allows to obtain key competitive advantages inside an industrial development that moves towards efficiency. Specially, manufacturing industry counts with several processes that goes from raw material transformation to a finished product for which having robust systems capable to prevent and counteract sub-process deviations is indispensable. A lack of them causes reactive responses that stop productive process and involves occasionally high-cost complex repairs in downtime and spare parts.

Wire belt unavailability or its lack of inventory is caused mainly by downtime derived from failures that provoke unscheduled detentions. This issue is related to an inadequate maintenance plan with high downtime and costs which is considered as the improvement objective of this undergraduate thesis.

A reliability-based maintenance plan design for steelastic area located inside Goodyear's Chile plant - in which a tire manufacturing sub-process known as wire belt production is done- is presented. Area selection was done based on supplies costs and its overall equipment effectiveness (OEE). Among other aspects, this design considers machine operation information and historical failure registry as inputs. This proposal allows to reduce unscheduled detentions and its costs in 50%.

Capítulo I. Introducción

1.1 Introducción al proyecto

Durante los últimos años, la gestión del mantenimiento se ha convertido en un proceso integral para el sector industrial. Cada vez las empresas adquieren una diversidad de máquinas y equipos que deben ser mantenidos para el buen funcionamiento de sus procesos, es por ello que la mantención de estos activos ha incrementado su importancia, las líneas de producción se ven tremendamente afectadas cuando alguno de sus componentes presenta defectos y debe ser detenido. Las pérdidas de tiempo por detenciones no programadas tienen un impacto económico considerable, por lo tanto, el papel del mantenimiento debe ser prestar un servicio de reparación de averías y defectos para continuar produciendo, pero más allá de eso, debe ser capaz de anticiparse a estos escenarios dando soporte a la línea productiva, convirtiéndose en una parte fundamental a la hora de programar la producción diaria.

El mantenimiento va reaccionando ante las nuevas exigencias del mercado, se ha dado un mayor enfoque en los aspectos de seguridad y cuidado del medio ambiente, como también a la evidente relación entre la mantención y la calidad del producto. El mantenimiento debe trabajar con potencial, proactividad, eficiencia y eficacia, a fin de controlar los tiempos de mantenciones correctivas y preventivas para conseguir una mayor disposición de la maquinaria, y a consecuencia, lograr aumentar la productividad de la empresa. A partir de ello, se han desarrollado diferentes metodologías y propuestas para alcanzar el logro de este objetivo en las empresas, siendo una de las propuestas más atractivas la mantención basada en confiabilidad.

Para el desarrollo de este proyecto, se trabajará en una de las fábricas de Goodyear, empresa dedicada a la fabricación y comercialización de neumáticos, con más de 100 de años de experiencia en el mercado mundial.

Actualmente se realizan planes de mantenimiento preventivo pero muchas veces éstos se ven aplazados por otros correctivos para no afectar la producción, esto provoca que las máquinas muchas veces no sean atendidas en tiempo oportuno, provocando posteriormente detenciones inesperadas durante un tiempo considerable. Esto afecta a la producción de otras máquinas por falta de material, además de incurrir en pérdidas económicas.

El problema observado principalmente es la no existencia de una adecuada mantención de maquinaria, lo que provoca un alto impacto a nivel operacional y productivo.

El objetivo principal es realizar un plan de mantenimiento en el área de Steelastic que además de aumentar el OEE de disponibilidad y disminuir los tiempos perdidos por mantenimiento correctivo y falta de material en el área de construcción.

1.2 Identificación y definición del problema

La empresa está consciente que si algo falla o no funciona adecuadamente dentro de todo el proceso, el alcance de ello es global, afectará a cada uno de los departamentos. Es por ello que Goodyear Chile hace un tiempo atrás, y siendo fiel a su filosofía, decidió implementar algunas mejoras. Dentro de las mejoras se implementó Kanban para disminuir los tiempos perdidos en las máquinas constructoras de neumáticos por falta de material, se han disminuido los tiempos perdidos por falta de material, pero se siguen observando grandes intervalos, luego de analizar los datos, se puede deducir que parte de estos provienen principalmente de mantenciones correctivas de la maquinaria, punto importante dentro de las mejoras continuas, ya que como se hizo mención antes, dentro de los pilares fundamentales para la empresa, se encuentra el Mantenimiento (TPM).

El desempeño de la fábrica está estrechamente vinculado a una buena gestión de mantención, es muy importante ser visionario, planificar y programar el mantenimiento para tener una producción continua y disponibilidad de los equipos y máquinas, cosa fundamental para cumplir con los objetivos del área productiva con mayor eficiencia.

El OEE mide en un único valor los parámetros fundamentales en la producción industrial, la disponibilidad de máquina a partir de los tiempos perdidos programados y no programados, la eficiencia de la máquina y la calidad del proceso, cuantas piezas defectuosas se producen y en el caso de Goodyear, cuantos batches se perdieron o tuvieron que ser reprocesados.

Goodyear para conseguir un OEE dentro de sus objetivos, necesita contar con un adecuado plan de mantenimiento de las máquinas. Cuentan con un programa de mantenimiento preventivo basado en instrucciones del fabricante, fallas recurrentes y requerimiento de los operarios, pero no es suficiente, muchas veces las máquinas fallan y se deja de realizar un mantenimiento preventivo por uno correctivo, esto produce intervalos de detención no programados y tiempos perdidos en el área de construcción por falta de material, impactando la producción esperada. El área de Steelastic es una de las que tiene menor disponibilidad de material para el área de construcción.

1.3 Objetivos del proyecto

I. Objetivo general

Plantear el diseño de un plan de mantenimiento basado en fiabilidad para máquinas de Steelastic de Goodyear de Chile S.A.I.C. que sea capaz de reducir los tiempos y costos de los mantenimientos correctivos.

II. Objetivos específicos

- Identificar y Analizar los procesos, planes y metodologías que actualmente se utilizan en el área en estudio y que se relacionan con la mantención industrial.
- Levantar la situación actual en la empresa.
- Identificar los componentes de los equipos que sean más relevantes en las máquinas de Steelastic aplicando un análisis de criticidad.
- Determinar tareas y frecuencias de mantenimiento a los componentes críticos de los equipos.
- Describir los mantenimientos Correctivo, Preventivo y Predictivo que se realizan en el Departamento de Mantenimiento.
- Crear un plan de mantenimiento fiable contemplando el análisis anterior.
- Cuantificar el costo e impacto que se produce por Mantenimiento Correctivo, Preventivo y Predictivo.

Capítulo II. Marco teórico

2.1 Mantenimiento

Según la QAEC (Asociación Española para la calidad) se define mantenimiento como: “Todas las acciones que tienen como objetivo mantener un artículo o restaurarlo a un estado en el cual pueda llevar a cabo alguna función requerida. Estas acciones incluyen la combinación de las acciones técnicas y administrativas correspondientes”.

Según la norma francesa AFNOR 60010, mantención se define como: “El conjunto de acciones que permiten mantener o restablecer un bien a un estado especificado o en capacidad de asegurar un servicio determinado”. Hay que agregar a este concepto las nociones de acciones a tomar antes del montaje de los bienes (etapa de diseño) y de la vida útil nominal del equipo, que determina también las acciones a tomar. (Pascual, 2002)

El mantenimiento, dependiendo del tipo que sea, puede garantizar la disponibilidad, confiabilidad y eficiencia de los equipos, máquinas, líneas de producción y sistemas en su más alto nivel, así también permite un aumento en la vida útil de estos. El diseño de un plan de mantenimiento, puede llegar a tener diversas consecuencias ya que tiene incidencia en factores como: costos de producción, calidad de producto, seguridad ambiental de la empresa, capacidad operacional, entre otros.

Se distinguen 5 tipos de mantenimiento tradicionalmente, estos se caracterizan por las tareas incluidas.

2.1.1 Correctivo o Curativo

Incluye todas las tareas destinadas a corregir y reparar defectos que se producen en diversas maquinas o líneas de producción. Antiguamente, las empresas utilizaban el mantenimiento correctivo como principal, ya que, al no requerir que la maquinaria se encontrara en constante operación, generaba soluciones transitorias capaces de regularizar determinados desperfectos. En la actualidad, la necesidad de contar con una producción permanente hace impracticable la aplicación de este enfoque sin repercutir en detenciones no programadas que impactan sobre la producción.

El mantenimiento correctivo puede ser clasificado en dos categorías:

- Mantenimiento correctivo programado: es aquel que realiza la reparación de la falla, en el momento que se cuenta con el personal, las herramientas, la información y materiales necesarios para realizar una correcta reparación. Esta reparación es más profunda ya que se cuenta con el personal calificado y las herramientas adecuadas.
- Mantenimiento correctivo no programado: aquel que realiza la reparación inmediatamente después de presentarse la falla en forma sorpresiva. Dado que es necesario evitar el incremento en los daños humanos y los costos asociados en mano de obra y materiales, la reparación debe ejecutarse con la mayor rapidez posible. (Mantenimiento Correctivo, Renovetec).

2.1.2 Preventivo

Tiene por misión mantener un nivel de servicio determinado en los equipos, programando las intervenciones de sus puntos vulnerables en el momento más oportuno. Suele tener un carácter sistemático, es decir, se interviene aunque el equipo no haya dado ningún síntoma de tener un problema. (Ingeniería de mantenimiento, renovetec)

2.1.3 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, fuertes conocimientos matemáticos, físicos y/o técnicos. (Ingeniería de mantenimiento, renovetec).

2.1.4 Overhaul (Cero Horas)

Es el conjunto de tareas cuyo objetivo es revisar los equipos a intervalos programados bien antes de que aparezca alguna falla o bien cuando la confiabilidad del equipo ha disminuido apreciablemente de manera que resulta arriesgado hacer previsiones sobre su capacidad pro-ductiva. El concepto de llevar un equipo a cero horas de funcionamiento supone convertir, a través de estas intervenciones, un equipo ya usado a las condiciones originales en las que fue recepcionado antes de entrar en operación. Según esto, estas revisiones consideran la reparación y/o sustitución de todos los elementos mecánicos sometidos a desgaste que tiene por finalidad asegurar un funcionamiento correcto y estable en el tiempo con mayor probabilidad. (Ingeniería de mantenimiento, renovetec)

2.1.5 En Uso

Es el mantenimiento básico de un equipo realizado por los usuarios del mismo. Consiste en una serie de tareas elementales (tomas de datos, inspecciones visuales, limpieza, lubricación, reapriete de tornillos) no es necesario una gran formación, sino que tan sólo un entrenamiento breve. Este tipo de mantenimiento es la base del TPM (Total Productive Maintenance, Mantenimiento Productivo Total). (Ingeniería de mantenimiento, renovetec).

2.2 Fallas

Se dice que un equipo entra en falla cuando deja de brindar el servicio para el cual fue concebido o bien cuando aparecen efectos indeseables según las especificaciones de diseño para las que fue construido o instalado. Los distintos modos de falla pueden ser clasificadas

de acuerdo al tiempo de aparición (Pistarelli, 2010) y los motivos más frecuentes por las que ocurren.

2.2.1 Clasificación de las Fallas

Tabla 1: Clasificación de las Fallas.

Clasificación de las Fallas	
Fallas Tempranas	<p>Se presentan en el comienzo de la vida útil de un sistema o máquina. Las causas de estas fallas pueden ser diversas, tales como:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Defectos de fabricación de un material. - Mala calidad del producto adquirido. <p>Marginando los factores asociados estrictamente a la calidad del equipo, existen otros vinculados a su instalación y/o al ambiente de operación tales como:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Golpes en la instalación - Mala ubicación de una máquina - Problemas de ventilación - Mal uso de la maquinaria producto de falta de conocimiento, etc.
Fallas Adultas	<p>Se presentan durante toda la vida útil derivadas de las normales condiciones de operación y desgastes de los equipos. La tardía detección de este tipo de fallas puede llegar a provocar daños severos tanto en los equipos utilizados, como en los sistemas completos a los que pertenecen. (Pistarelli, 2010)</p>
Fallas Tardías	<p>Se presentan en la etapa final de la vida útil del equipo. Se caracterizan por ser de lenta aparición y consecuencia de la falla de múltiples componentes por razones mecánicas y/o eléctricas.</p>

Fuente: [Elaboración propia]

2.2.2 Causas de las Fallas

Las causas más habituales por las que se generan fallas, tanto en maquinarias como en líneas de producción, se producen en uno o varios de estos factores(Garcia,2003):

- I) Por un fallo de material (desgaste, rotura y fatiga).
- II) Por un error humano del personal de operación (errores de interpretación durante el trabajo, actuación incorrecta ante un fallo, cansancio, desmotivaciones y falta de formación).
- III) Por un error humano del personal de mantenimiento (durante inspecciones, revisiones y reparaciones)
- IV) Condiciones externas anómalas (diferentes a las condiciones para las que fue diseñada).

Cuando más de uno de estos factores ocurren simultáneamente, genera un grado de dificultad en el estudio de la falla, ya que puede dificultar que se detecte la causa principal.

2.3 Confiabilidad

2.3.1 Confiabilidad de un sistema

“La confiabilidad de un sistema se define como la probabilidad de que un elemento funcione sin fallar durante un periodo de tiempo determinado bajo condiciones ambientales y de entorno preestablecidas”. A partir de la definición anterior, se desprende que un equipo bajo condiciones conocidas puede estar en dos estados excluyentes entre sí: en falla o en funcionamiento. No obstante, esta definición no es aplicable de modo transversal a todos los sistemas. Los sistemas mecánicos cuentan con estados intermedios en los cuales una máquina que cuenta con fallas intermitentes puede encontrarse en operación, trayendo impactos en la calidad del producto fabricado, volumen de producción y tiempo efectivo de operación, de modo tal que su diferenciación es compleja. Por su parte, dada su lógica binaria de funcionamiento, los sistemas dependientes de componentes electrónicos o electrónicos pueden ser clasificados en forma más sencilla de acuerdo a esta definición.

2.3.2 Confiabilidad operacional

La confiabilidad operacional se define como una serie de procesos de mejora continua que incorpora de manera sistemática herramientas avanzadas de diagnóstico, metodologías de análisis y nuevas tecnologías para cumplir con el objetivo de optimizar la gestión, planificación, ejecución y control de la producción industrial.

En un sistema de confiabilidad operacional, se requiere analizar sus parámetros operacionales: confiabilidad humana, mantenimiento de equipos, confiabilidad de los procesos y confiabilidad de los equipos. Los resultados de dicho análisis determinan si es necesario implementar una estrategia de mejoramiento continuo y de largo plazo (García, 2005).

2.3.2.1 Aplicación de la confiabilidad operacional

Las estrategias de Confiabilidad Operacional se utilizan en 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.

La Confiabilidad Operacional impulsa el establecimiento de tecnologías que faciliten la optimización industrial, entre las cuales se pueden destacar:

- Modelaje de sistemas, en la confiabilidad operacional se gasta a nivel de elementos (equipos, procesos y clima organizacional) y se recibe beneficios a nivel de planta.
- Confiabilidad Organizacional, llamada también en forma sesgada error humano siendo este el ancla más fuerte.
- Gestión del Conocimiento, valor agregado de nuevas prácticas y conocimientos, a través de mediciones sistémicas, bancos de datos, correlaciones, simulaciones, minería de datos y estadísticas.
- Manejo de la incertidumbre, a través del análisis probabilístico de incertidumbre y riesgo asociado.
- Optimización Integral de la Productividad, a través de pruebas piloto en seguridad y confiabilidad desde el diseño.

2.3.2.2 Herramientas de confiabilidad operacional

La confiabilidad como metodología de análisis debe soportarse en una serie de herramientas que permitan evaluar el comportamiento del activo de una forma sistemática a fin de poder determinar el nivel de operatividad, la cuantía del riesgo y las demás acciones de mitigación que se requieren, para asegurar su integridad y continuidad operacional.

Son múltiples las herramientas de que se sirve la confiabilidad con el fin de formular planes estratégicos para lograr la excelencia en las actividades de mantenimiento.

- **Análisis de Criticidad (CA).** Es una técnica que permite jerarquizar sistemas, equipos e instalaciones, en función de su impacto global, con el fin de facilitar la toma de decisiones.
- **Análisis de Modos y efectos de Falla y Criticidad (FMECA).** Es una metodología que permite determinar los modos de falla de los componentes de un sistema, el impacto y la frecuencia con que se presentan.
- **Análisis Causa Raíz (RCFA).** Es una técnica sistemática que se aplica con el objetivo de determinarlas causas que originan las fallas, sus impactos y frecuencias de aparición, para poder mitigarlas o eliminarlas.
- **Inspección Basada en Riesgos (RBI).** Es una técnica que permite definir la probabilidad de falla de un equipo o sistema, y las consecuencias que las fallas pueden generar sobre la gente, el ambiente y los procesos.
- **Análisis Costo Riesgo Beneficio (BRCA).** Es una metodología que permite establecer una combinación óptima entre los costos de hacer una actividad y lo logros o beneficios que la actividad genera, considerando el riesgo que involucra la realización o no de tal actividad.
- **Costo del Ciclo de Vida (LCC).** El análisis LCC es una metodología que permite elegir entre opciones de inversión o acciones de incremento de la confiabilidad con base en su efecto en el costo total del ciclo de vida de un activo nuevo o en servicio.

2.4 Mantenimiento centrado en la confiabilidad, RCM

2.4.1 Qué es RCM

RCM está dentro de las posibles técnicas para la elaboración de un plan de mantenimiento dentro de una planta industrial, este presenta ciertas ventajas significativas por sobre otras técnicas. En sus inicios fue elaborada para el sector de la aviación, ya que los altos costos que derivaban de la sustitución sistemática de piezas, hacían que las compañías aéreas tuvieran una baja rentabilidad. Luego se trasladó al campo industrial, tras comprobar los excelentes resultados dados en la aeronáutica. (García, 2009)

2.4.2 Evolución del RCM

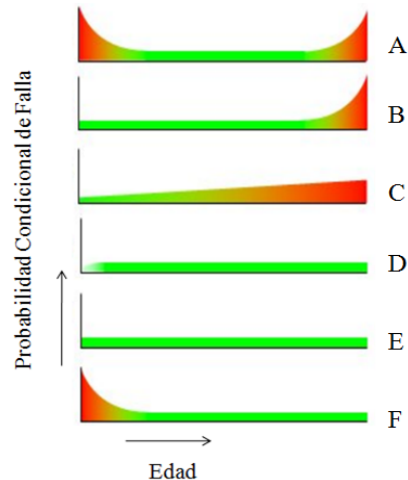
En el transcurso de los años, el mantenimiento ha recibido significantes aportes provenientes del campo de la estadística y de la teoría de la confiabilidad. Antes de que surgiera el RCM se tenían varios conceptos acerca de la administración del mantenimiento. A continuación se menciona como ha evolucionado al nuevo sistema de mantenimiento centrado en la confiabilidad.

Tabla 2: Resumen de la Evolución de RCM.

ACCIONES MANTENIMIENTO TRADICIONAL	ACCIONES CON RCM
Mantenimiento para conservar los equipos en buen estado.	Mantenimiento para conservar las funciones de los activos físicos.
Mantenimiento rutinario para prevenir la falla.	Mantenimiento rutinario para evitar, reducir o eliminar las consecuencias.
El objetivo del mantenimiento era optimizar la disponibilidad de la planta a un costo fijo.	Su objetivo no es solo optimizar la disponibilidad de la planta, sino también en aumentar la seguridad, la integridad ambiental, la calidad de los productos y el servicio al cliente.
La mayoría de los equipos tienden a fallar a medida que envejecen.	Se presentan modelos de fallas de los equipos determinados por curvas de probabilidad de falla contra vida útil.
Los tres tipos de mantenimiento convencional son: predictivo, preventivo y correctivo.	Con la nueva estrategia de mantenimiento se adiciona el tipo detectivo.

Fuente: [Paradigmas de Mantenimiento de Clase Mundial, Carlos Mario Pérez]

Figura 1: Nuevos modelos de fallas.



Fuente: [Moubray, J. 2004]

- Modelo A: También se conoce como la curva de la bañera. Comienza con una alta incidencia de fallas seguida por una frecuencia de falla que aumenta gradualmente o constante, y luego por una zona de desgaste.
- Modelo B: Muestra una probabilidad de falla constante o de lento incremento, y termina en una zona de desgaste.
- Modelo C: Muestra una probabilidad de falla ligeramente ascendente, pero no hay una edad de desgaste clara de identificar.
- Modelo D: Muestra una probabilidad de falla cuando el componente es nuevo o se acaba de comprar, luego un rápido aumento a un nivel constante.
- Modelo E: Muestra una probabilidad constante de falla en todas las edades (falla al azar).
- Modelo F: Comienza con una mortalidad infantil muy alta, que desciende finalmente a una probabilidad de falla que aumenta despacio o que es constante.

Aclarando que el número de veces que ocurren estos modelos en la aviación no es necesariamente el mismo que en la industria, pero hay una relación que entre más complejo sean los equipos más veces se encontrarán los modelos de falla E y F. (Moubray, 2004)

2.4.3 Objetivos del RCM

El objetivo principal de la implementación de un Mantenimiento Centrado en Confiabilidad o RCM en una planta industrial es aumentar la disponibilidad y disminuir costos de mantenimiento. De acuerdo a las experiencias de aplicación de esta metodología, esta técnica de análisis aplicada en una planta industrial es capaz de aportar una serie de resultados tales como:

- Mejorar la comprensión del funcionamiento de los equipos y sistemas
- Analiza todas las posibilidades de fallo de un sistema y desarrolla mecanismos que tratan de evitarlos, ya sean producidos por causas intrínsecas al propio equipo o por actos personales.
- Determina una serie de acciones que permiten garantizar una alta disponibilidad de la planta. (García, 2010)

Hay varios tipos de acciones preventivas que evitan fallas y, por lo tanto, aumentan la disponibilidad de tiempo para fines productivos dentro de la planta como, por ejemplo:

- Tareas de mantenimiento, que agrupadas forman el Plan de Mantenimiento de una planta industrial o una instalación
- Procedimientos operativos, tanto de Producción como de Mantenimiento
- Modificaciones o mejoras posibles
- Definición de una serie de acciones formativas realmente útiles y rentables para la empresa
- Determinación del stock de repuesto que es deseable que permanezca en Planta.

El mantenimiento centrado en confiabilidad se basa en el análisis de fallos, tanto aquellos que ya han ocurrido, como los que se están tratando de evitar con determinadas acciones preventivas como por último aquellos que tienen cierta probabilidad de ocurrir y pueden tener consecuencias graves. Durante ese análisis de fallos se debe contestar a seis preguntas claves: (García, 2010)

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

2.4.4 Fases del RCM

La metodología en la que se basa RCM supone ir completando una serie de fases para cada uno de los sistemas que componen la planta.

2.4.4.1 Fase 0: Listado y codificación de equipos

Las instalaciones productivas cuentan con una multiplicidad de elementos mecánicos y eléctricos independientes uno de otro. No obstante, es posible considerar toda la red integrada como un único equipo y cada una de las partes como elementos que definen dicha red.

El desafío que existe en esta fase corresponde a elaborar una lista ordenada de los equipos que constituyen dicha red en forma de una estructura arbórea donde se indiquen las relaciones de dependencia de cada uno de los elementos con el resto. Aplicado a las plantas industriales, se pueden identificar distintos niveles (Figura 2):

Figura 2: Estructura arbórea.



Fuente: [Moubray, J. 2004]

2.4.4.2 Fase 1: Listado de funciones y sus especificaciones

“Completar esta fase significa detallar todas las funciones que tiene el sistema que se está estudiando, cuantificando cuando sea posible como se lleva a cabo esa función (especificación a alcanzar por el sistema).”

Para que el sistema cumpla su función cada uno de los subsistemas en que se subdivide deben cumplir su función. Para esto, es necesario realizar una lista de las funciones de cada subsistema.

Finalmente, cada subsistema está compuesto por varios de equipos. Será conveniente detallar la función de los equipos y elementos, ya que esta lista podría llegar a ser interminable, se establecen los “equipos significativos” y se detallarán sus funciones.

Tendremos tres listados de funciones:

- Las funciones del sistema en su conjunto
- Las funciones de cada uno de los subsistemas que lo componen

- Las funciones de cada uno de los equipos significativos de cada subsistema

2.4.4.3 Fase 2: Determinación de fallos funcionales y fallos técnicos

Un fallo es la incapacidad de un ítem para cumplir alguna de sus funciones. Es necesaria la distinción entre fallos funcionales y fallos técnicos.

Fallo funcional es aquel que impide al sistema cumplir su función principal. Este puede provocar que la planta pare o disminuya su capacidad.

Fallo técnico es el que supone un funcionamiento anormal de una parte de éste. Los fallos técnicos afectan tanto a sistemas como a subsistemas o equipos. Estos presumen funcionamientos anormales que pueden llevar a una degradación acelerada del equipo, pudiendo terminar transformándose en fallas funcionales.

2.4.4.4 Fase 3: Determinación de los modos de fallos

Tras determinar todos los fallos que puede presentar un sistema, un subsistema o uno de los equipos significativos que lo componen, se estudian los modos de fallo. Se puede definir 'modo de fallo' como la principal causa de un fallo.

Cada fallo puede presentar múltiples modos de fallo. Y estos últimos a su vez pueden tener múltiples causas, y estas causas, hasta llegar a lo que se denomina 'causas raíces'.

Es importante definir el grado de profundidad con que se van a estudiar los modos de fallo, de manera que el estudio sea abordable, sea técnicamente factible.

Es aconsejable estudiar modos de fallo y causas primarias de estos fallos, y no ahondar más. Así, se pierde una parte de la información, pero se logra realizar el análisis de fallos de toda la instalación con recursos y tiempo razonables. Según Pareto, el 20% de las causas son responsables del 80% de los problemas.

2.4.4.5 Fase 4: Estudio de las consecuencias de los fallos. Criticidad

Se determinan los efectos de cada modo de fallo y se clasifican según la gravedad de las consecuencias.

En cada modo de fallo se debe responder a: ¿qué pasa si ocurre?. Desde esta explicación, se pueden valorar sus consecuencias para la seguridad y el medio ambiente, para la producción y para el mantenimiento.

Se consideran tres posibles casos: que el fallo sea crítico, importante o tolerable.

Para que un fallo sea crítico, debe cumplir alguna de las siguientes condiciones:

Figura 3: Análisis de criticidad de fallo. Fallo crítico.

Análisis de Criticidad de Fallos				
Seguridad y Medioambiente		Producción		Mantenimiento
Accidente grave probable	X	Supone parada o afecta potencia o rendimiento	X	Alto costo de reparación (>5.000.000 pesos)
Accidente grave, pero muy poco probable		Afecta a potencia y/o rendimiento, pero el fallo es poco probable		Costo medio de reparación (500.000 - 5.000.000 pesos)
Poca influencia en seguridad y medioambiente		No afecta a la producción		Costo bajo de reparación (<500.000 pesos)

CRÍTICO

Fuente: [<http://www.mantenimientopetroquimica.com/>]

Para que un fallo sea importante:

- No debe cumplir ninguna de las condiciones que lo hagan crítico.
- Debe cumplir alguna de estas condiciones:

Figura 4: Análisis de criticidad de fallo. Fallo importante.

Análisis de Criticidad de Fallos				
Seguridad y Medioambiente		Producción		Mantenimiento
Accidente grave probable		Supone parada o afecta potencia o rendimiento		Alto costo de reparación (>5.000.000 pesos)
Accidente grave, pero muy poco probable	X	Afecta a potencia y/o rendimiento, pero el fallo es poco probable	X	Costo medio de reparación (500.000 - 5.000.000 pesos)
Poca influencia en seguridad y medioambiente		No afecta a la producción		Costo bajo de reparación (<500.000 pesos)

IMPORTANTE

Fuente: [<http://www.mantenimientopetroquimica.com/>]

Para que un fallo sea considerado tolerable, no debe cumplir ninguna condición que le haga ser crítico o importante, debe tener poca influencia en seguridad y medioambiente, no afecte a la producción de la planta y tenga un costo de reparación bajo.

2.4.4.6 Fase 5: Determinación de las medidas preventivas

Las medidas preventivas que se pueden tomar son:

❖ Tareas de Mantenimiento:

Trabajos que pueden realizarse para cumplir el objetivo de evitar un fallo o minimizar los efectos de este.

La tabla N°3 muestra que los tipos de tareas de mantenimiento que se pueden aplicar dependiendo de la criticidad del fallo determinado.

Tabla 3: Tipos de tareas de mantenimiento.

Tipos de Tareas de Mantenimiento	Tipos de Fallo a los que puede aplicarse
1. Inspecciones visuales	Todos los fallos
2. Tareas de lubricación	Todos los fallos
3. Verificaciones On-Line	Todos los fallos
4. Verificaciones Off-Line: → Verificaciones sencillas - Mediciones de temperatura - Mediciones de vibración (con vibrómetro) - Mediciones de consumo de corriente - Etc. → Verificaciones con instrumentos complejos - Análisis de vibraciones (con analizador) - Termografías - Detección de fugas por ultrasonidos - Análisis de la curva de arranque de motor - Comprobaciones de alineación por laser - Etc.	Fallos importantes y críticos
5. Tareas Condicionales (según los resultados de las tareas anteriores): → Limpiezas según condición → Ajustes según condición → Sustitución de piezas según su estado	Fallos importantes y críticos
6. Tareas sistemáticas (haya o no haya síntomas de fallo): → Limpiezas sistemática → Ajustes sistemáticos → Sustitución sistemática de piezas de desgaste	Sólo fallos críticos
7. Mantenimiento Cero Horas (sustitución de todos los elementos sometidos a desgaste)	Sólo fallos críticos

Fuente: [<http://www.mantenimientopetroquimica.com/>]

Tras determinar los modos de fallo posibles en un ítem, se determinan qué tareas de mantenimiento podrían disminuir o evitar los efectos de un fallo.

Para fallos tolerables, las tareas de tipo 1, 2 y 3, Tienen costos casi nulos (no se justifican gastos muy altos). Para los fallos importantes, las tareas que se ajustan son de los tipos 4 y 5. En el caso de fallos importantes se trata de buscar síntomas de fallo antes de actuar. Los fallos críticos (tienen graves consecuencias), por esto se justifica casi cualquier actividad para evitarlo.

❖ La determinación de la frecuencia de las tareas de mantenimiento

Ya determinadas las tareas, se debe determinar la frecuencia necesaria para realizarlas.

Por último, se debe especificar la especialidad de la tarea (mecánica, eléctrica, predictiva, de operación, de lubricación, etc.)

❖ Mejoras y modificaciones de la instalación

Ciertos fallos se pueden prevenir modificando la instalación, o introduciendo mejoras.

❖ Cambios en los procedimientos de operación

El cambio en un procedimiento de operación tiene un costo muy bajo, y un beneficio potencial alto. Como inconveniente, todos los cambios suelen tener una inercia alta para llevarlos a cabo, se requiere prestar la debida atención al proceso de implantación de cualquier cambio en un procedimiento.

❖ Cambios en los procedimientos de mantenimiento

Redacción de procedimientos en los que se indique claramente cómo deben realizarse determinadas tareas, y que figuren determinados datos (tolerancias, ajustes, pares de apriete, etc.). Para averías que se producen por intervenciones incorrectas del personal de mantenimiento.

❖ Formación

Prever acciones formativas, tanto para el personal de operación como para el de mantenimiento. La formación en determinados procedimientos, en un riesgo en particular, el repaso de un diagrama unifilar, o el estudio de una avería sucedida en una instalación.

2.4.4.7 Fase 6: Agrupación de las medidas preventivas

En esta fase se agruparán las medidas por tipos (tareas de mantenimiento, mejoras, procedimientos de operación, procedimientos de mantenimiento y formación), lo que facilita su implementación.

2.4.4.8 Fase 7: Puesta en marcha de las medidas preventivas

Fase en la que se debe implementar todas las medidas obtenidas

- Puesta en marcha del plan de mantenimiento
- Implementación de mejoras técnicas
- Puesta en marcha de las acciones formativas
- Puesta en marcha de cambios en procedimientos de operación y mantenimiento

2.5 Eficiencia General de los Equipos, OEE

2.5.1 Beneficios

El OEE es una herramienta para medir la eficacia de la maquinaria industrial, reconocida a nivel internacional, y este es expresado como un porcentaje.

El OEE mide el total del rendimiento que relaciona la disponibilidad del proceso en la calidad y productividad. La medición del OEE evidencia de qué manera está utilizando sus recursos, los que incluyen los equipos, el trabajo y la habilidad al satisfacer a los clientes con la calidad especificada.

El OEE nos entrega la visión sobre las pérdidas que ocurren en el proceso de fabricación.

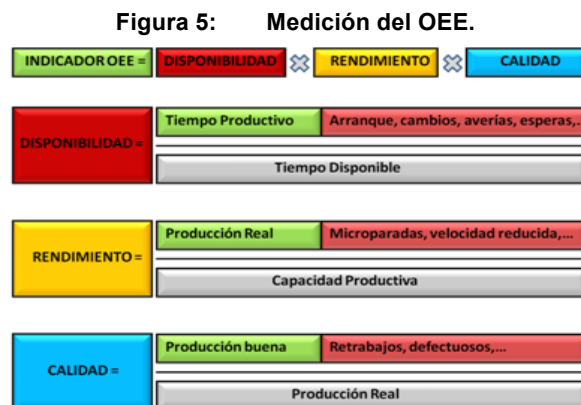
Si en la producción los productos aprobados se quedan por debajo de la capacidad instalada, se refiere a capacidad oculta de producción (por lo que esta capacidad no se está utilizando para fabricar productos buenos, y, de forma no intencionada, se utiliza para otras cosas, como pérdidas).

El OEE mide la efectividad de la instalación o la máquina, en comparación con una máquina ideal, la que está en funcionamiento a una máxima velocidad y producción y además funciona siempre que se requiera, dentro del proceso de fabricación se consideran tres principales factores: Disponibilidad, Rendimiento y Calidad, de esta forma permite ver sencillamente el estado en funcionamiento del proceso de fabricación y los efectos de este en el proceso productivo. El OEE permite identificar, cuantificar y actuar para reducir las pérdidas productivas.

El OEE indica con cuánta efectividad son utilizadas las máquinas comparado con la máquina ideal (OEE = 100%).

2.5.2 ¿Cómo se calcula el OEE?

El OEE es calculado en base a los tres factores principales que determinan la productividad de las máquinas.



Fuente: [<http://www.sistemasoe.com/>]

Principales factores:

- Disponibilidad: Tiempo que ha permanecido en funcionamiento la máquina o equipo respecto al tiempo que se quería que permaneciera en funcionamiento, restando el tiempo no planificado, es decir, tiempo realmente productivo sobre el tiempo disponible.

$$Disponibilidad(\%) = \frac{Tiempo\ Operativo}{Tiempo\ Disponible} * 100 \quad (2.1)$$

- Rendimiento: Cuanto se fabricó (bueno y malo) durante el tiempo de funcionamiento con respecto al pronóstico de fabricación en tiempo de ciclo ideal, es decir, producción real obtenida sobre la capacidad productiva.

$$Rendimiento(\%) = \frac{Producción\ Total\ Real}{Producción\ Teórica\ en\ el\ Tiempo\ Operativo} * 100 \quad (2.2)$$

- Calidad: Cuanto se fabricó bueno en primera instancia con respecto a la producción total, es decir, piezas buenas producidas sobre el total producido.

$$Calidad(\%) = \frac{Producción\ OK}{Producción\ Total} * 100 \quad (2.3)$$

El valor del OEE, en la práctica, es más bajo de lo que se espera. La diferencia de la realidad y lo ideal es igual a la suma de las pérdidas, de esta manera muestra donde están las “posibilidades de mejora”

No podemos mejorar lo que no hemos medido. La Fabricación World Class (Clase Mundial, es decir, los mejores) tiene su éxito basado en una medición realizada de manera precisa y consistente del rendimiento de procesos productivos y de las maquinarias. Ya que el OEE como herramienta para encontrar donde están las pérdidas es muy potente, el proceso de mejora debe comenzar siempre con la medición del OEE.

2.5.3 OEE y Lean Manufacturing

Las metodologías de fabricación moderna, como TPM (Total Productive Maintenance) o Lean Manufacturing, deben su éxito en su mayoría a la medición precisa y el análisis de los datos de producción.

En esta parte entra el sistema de medición OEE, un enfoque en gran manera sofisticado para analizar las pérdidas productivas, este permite identificar las reales causas de las pérdidas.

Al utilizar el indicador de productividad OEE permitirá obtener "Beneficios Lean", tales como:

- Ahorrar tiempo
- Obtención de información fiable
- Reuniones más eficaces
- Facilitar el trabajo de todos
- Consolidar las mejoras

2.5.4 ¿ Cómo mejorar con el OEE?

En la práctica un valor de 100% para el OEE es inalcanzable y nos ayudará a trabajar sistemáticamente en la mejora continua.

El OEE también nos permite realizar una comparación entre máquinas, líneas productivas, turnos de trabajo, células productivas, plantas productivas e incluso permite la comparación con las mejores empresas del sector industrial al que pertenecemos.

El OEE lo podemos clasificar según su nivel de excelencia, en términos generales:

- 0% < OEE < 65% = Inaceptable. Muy baja competitividad.
- 65% < OEE < 75% = Regular. Baja competitividad. Aceptable solo si se está en proceso de mejora.
- 75% < OEE < 85% = Aceptable. Continuar la mejora para avanzar hacia la World Class.
- 85% < OEE < 95% = Buena competitividad. Entra en Valores World Class.
- 95% < OEE < 100% = Excelente competitividad. Valores World Class.

2.6 Tiempo medio entre fallas (MTBF)

El MTBF es el tiempo promedio transcurrido entre una falla y la siguiente en que una máquina, equipo, línea o planta está en funcionamiento sin interrupciones por fallas.

El MTBF se calcula tomando el tiempo total de funcionamiento y dividiendo este en el número de detenciones por falla, como se muestra en la fórmula (2.4).

$$MTBF = \frac{TTF}{N^{\circ}F} \quad (2.4)$$

Donde :

TTF: Tiempo total de funcionamiento

NºF: Número de fallas

El MTBF es un indicador de confiabilidad, que nos proporciona el tiempo promedio de funcionamiento normal de una máquina, equipo, línea o planta.

2.7 Distribución de Weibull

La Distribución de Weibull es versátil, esta puede ser utilizada para simular una gama amplia de aplicaciones para control de calidad, ingeniería, investigación médica, finanzas y climatología. Con frecuencia es utilizada en análisis de confiabilidad para el modelamiento de datos del tiempo hasta la falla.

Esta es una distribución continua y tripamétrica, está definida por tres parámetros (forma, escala y valor umbral)

La distribución de Weibull al tener un p-value menor a 0.05 no puede ser utilizada, ya que este valor indica que los datos no pertenecen a esta distribución.

Capítulo III. Antecedentes de la Empresa

3.1 Historia de Goodyear

En el siglo XIX, específicamente en el año 1839, Charles Goodyear, luego de 5 años de investigación, descubre el proceso para volver el caucho más duro, resistente y flexible a través del azufre, que actúa sobre los dobles enlaces de carbono presentes en el elastómero, aplicando presión y altas temperaturas, se genera la reacción química que permite brindar al elastómero dichas propiedades. Este proceso lo llamó vulcanización.

Luego de varios años, Frank Seiberling funda en 1898 la empresa Compañía de Neumáticos y Cauchos Goodyear (The Goodyear Tire and Rubber Company en inglés) en honor al descubrimiento de Charles Goodyear cuya sede principal se encuentra ubicada en la ciudad de Ohio, Estados Unidos.

Goodyear comenzó sus operaciones con la fabricación de neumáticos para bicicletas y carruajes, almohadillas para herraduras y fichas para jugar póker. A pocos años de su fundación, Goodyear logró instalarse a nivel mundial en la industria manufacturera: en 1916 se ganó el título de la empresa de neumáticos más grande del mundo, mientras que en 1926 logró posicionarse como la primera empresa de caucho a nivel global.

Económicamente, Goodyear tuvo una excelente partida, tras el primer mes de trabajo, sus ventas alcanzaron la cifra de 8246 dólares. Actualmente, es una de las compañías más grandes de la industria de los neumáticos. Cuenta con presencia en seis continentes, cincuenta y tres plantas ubicadas en veintidós países, una fuerza laboral de setenta y dos mil personas y ventas anuales de más de USD \$ 15.000 MM. Los productos fabricados no están limitados a la marca Goodyear, sino que además produce y comercializa las marcas Dunlop, Kelly, Fulda, Lee, Sava, Debica, entre otros.

Goodyear de Chile S.A.I.C.

La operación de la actual planta de Goodyear ubicada en la comuna de Maipú, Santiago, se remonta a la década de 1940. El 14 de junio de 1941, la Industria Nacional de Neumáticos (INSA) comienza la construcción de una planta de fabricación de neumáticos orientada a la satisfacción de la demanda interna del país. Sin embargo, no fue hasta septiembre de 1944 que entró en operación, alcanzando una producción diaria de trescientos cincuenta neumáticos.

Conforme al paso del tiempo hasta el inicio de la década de 1970, INSA fue capaz de incrementar y diversificar su producción. Sin embargo, la instauración del gobierno militar derivó que la Corporación de Fomento (CORFO) tomara el control de la planta hasta 1978, año en que fue adquirida por The Goodyear Tire & Rubber Company. Este cambio, en principio de carácter administrativo, también derivó en el paso hacia la fabricación de neumáticos radiales, transformación que significó la inserción de nueva tecnología, aumento de capacidad productiva y modernas técnicas de administración. De esta manera, se efectuó en forma exitosa el cambio de esta industria manufacturera desde un mercado cerrado y protegido por el Estado hacia el mercado abierto y competitivo.

Dentro de sus hitos importantes, destacan en la década de 1990 la fabricación de los primeros neumáticos Race, orientados al uso en las carreras de automovilismo de vehículos de Fórmula 1 y la obtención de la certificación de calidad ISO 9001 (actualmente esta certificación es requerimiento legal para poder exportar neumáticos hechos en Chile y venderlos en el mercado norteamericano). Luego, se adjudica las certificaciones como proveedor de equipo original para la industria automotriz, ISO/TS 16.949, de Seguridad, OHSAS 18.001, y Cuidado del Medio Ambiente, ISO 14.001.

En 2003, la planta comienza un importante proceso de cambio junto con una racionalización de sus líneas de producción. Deja de ocuparse de la demanda local y se convierte en un productor de neumáticos para Chile y exportador de calidad mundial para diversos mercados en el mundo.

En 2004, Goodyear incorpora a su oferta de valor la disposición final de los neumáticos al fin de su vida útil, siendo de esta forma, pionera en el país en el cuidado del medio ambiente. Los usuarios pueden dejar sus neumáticos usados al reemplazarlo por nuevos, teniendo la certeza que serán eliminados en forma consciente con el cuidado del medio ambiente. Esta disposición final considera el coprocesamiento de los neumáticos fuera de uso en operaciones autorizadas de producción de cemento y de producción de subproductos de caucho reciclado.

En 2008, la compañía decide realizar una inversión en la actualización de la tecnología y en el aumento de la capacidad de la planta, dando comienzo en 2010 al proyecto "Expansión" donde se renovaron las maquinarias y se mejoraron sistemas y procesos de la planta. Con este proyecto Goodyear pasa de fabricar entre nueve mil y doce mil neumáticos a fabricar entre dieciocho mil y veinte mil neumáticos.

Durante todos estos años, ha mantenido una posición de liderazgo evidente en el mercado chileno gracias a la potente red de comercialización y distribución a través de sus Servitecas y Flotacentros en todo el país donde los usuarios acceden a los mejores neumáticos y reciben atención profesional y especializada.

3.2 Estrategia actual de la empresa

- **Misión**

La Misión de la empresa es el mejoramiento constante de sus productos y servicios para exceder las expectativas de sus clientes y de la gente.

- **Visión**

La visión es ser una compañía enfocada en el mercado de neumáticos ofreciendo productos y servicios superiores, a usuarios finales y a sus canales de distribución, proporcionando un justo retorno de inversión a sus accionistas.

- **Valores**

Los valores los enfocan en la frase "Proteja nuestro buen nombre" que según la empresa, se refleja mediante el desarrollo de una cultura en la cual un equipo competitivo y comprometido de asociados puede sobresalir, se manifiesta a través del compromiso

adquirido en los productos que venden y en los consumidores que depositan su confianza en ellos.

- **Objetivos para el Personal**

Rasgos de Liderazgo: Goodyear será dirigido por líderes que,

- Construyan talentos y equipos en torno a ellos.
- Tengan la habilidad de resolver problemas.
- Sean comunicadores efectivos.
- Tomen decisiones valientes.
- Entreguen resultados.

- **Valores Compartidos:**

- Entregar la más alta calidad en todo lo que hacemos.
- Actuar con honestidad, integridad y respeto.
- Fomentar el bienestar y la seguridad en el trabajo y fuera del trabajo.
- Cuidar nuestro medio ambiente y la comunidad.
- Apoyar al equipo, basado en la cultura de continuo aprendizaje.
- Debatir problemas abiertamente y resolverlos como equipo.

- **Objetivos Comunes:**

- Atraer, desarrollar, motivar y retener al mejor equipo de asociados.
- Ganar y construir relaciones de larga duración con los clientes, consumidores, y socios de negocios y exceder sus expectativas.
- Dirigir una eficiente, alineada y efectiva organización.
- Crear un sustentable modelo de negocios que entregue constantemente un fuerte retorno de la inversión.

- **Objetivos Estratégicos:**

1. Ser la planta más segura en el mundo.
2. Proveedor preferido en los ojos de nuestros clientes desde el punto de vista de la calidad.
3. Liberar todo el potencial de nuestras personas.
4. Proveedor preferido en términos de consistencia en la entrega de productos.
5. Habilitar crecimiento en áreas de productos específicos.
6. Mejorar nuestra productividad neta versus costo año a año.
7. Cultura de cero pérdidas.

3.3 Bienes y servicios

Productos

Tabla 4: Descripción de productos

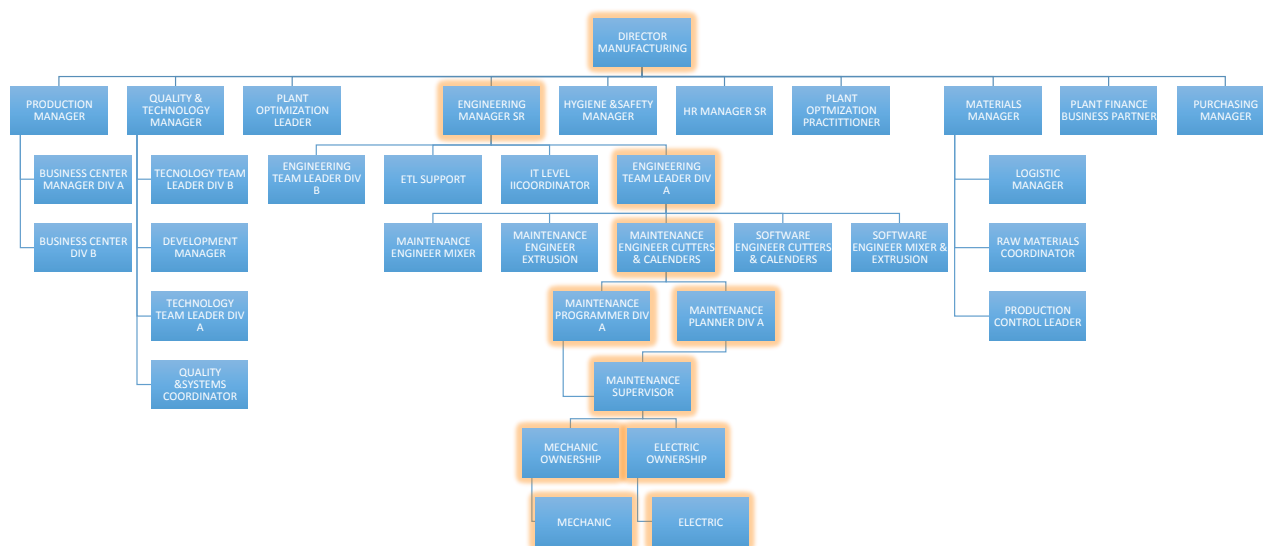
PRODUCTO	DESCRIPCIÓN
<p>AUTOMÓVIL</p> 	<p>Ya sea que esté manejando para ir al trabajo, al cine o al supermercado, usted necesita neumáticos en los que puede confiar. Por eso Goodyear creó una amplia gama de neumáticos, diseñados para una fácil conducción y una tracción firme, en seco o en condiciones de humedad. Esta amplia gama considera neumáticos para tres tipos de automóvil: Automóvil Deportivo, donde destacan el Eagle GT, Eagle F1 Asymmetric, Eagle F1 GSD3 y el Eagle Ventura; Automóvil Familiar, destacando el GPS Duraplus Fuelmax, GPS 3 y el Eagle GTII; y por último, Automóvil de Lujo, destacando el Eagle Excellence, Eagle NCT5, Assurance Tripletred, Eagle RSA, Eagle LS2 y el Eagle GA.</p>
<p>CAMIONETA</p> 	<p>Ya sea que conduzca en carreteras, arena, barro o piedras, Goodyear tiene los neumáticos que usted necesita para cada aplicación. Porque los radiales Wrangler son los neumáticos de tracción firme diseñados para todo tipo de superficie, en caminos con o sin pavimento. Para este tipo de vehículo existen dos gamas de neumáticos: Para Camionetas SUV están el Fortera Tripletred, Fortera Comfortred, Wrangler F1, Wrangler HP, Wrangler Adventure, Wrangler AT/S, Wrangler SR/A, Wrangler RT/S, Wrangler Silent Armor, Wrangler RT y Wrangler MT/R Kevlar; para camionetas Utilitarias están el G32 CARGO y el G46.</p>
<p>CAMIONES Y BUSES</p> 	<p>Los neumáticos Goodyear representan lo más reciente en tecnología de neumáticos para camiones. Por lo que, independientemente de la carga y del camino, usted encontrará una amplia selección de neumáticos con alto rendimiento y resistencia adecuados para su tipo de necesidad. Goodyear ofrece una gama de neumáticos para: Camión Convencional, el CT 217, CT 150 y G100 S&G; Camión Radial, el G657, G658, G665, G667, G677MSD, G677OTR, G686 MMS, Regional RHS, Regional RHD, Marathon LHD II, Marathon LHS II, Omnitrac MSD, Omnitrac MSS, Off Road ORD, Regional RHT, G288 MSA y G177.</p>
<p>OTROS</p> 	<p>Goodyear ofrece una amplia gama de productos Fuera de Camino (muevetierra) para todos los segmentos de su negocio. Goodyear es un surtidor global con experiencia, desarrollando productos funcionales que generan excelentes hora/costo.</p>
<p>AVIACIÓN</p> 	<p>Goodyear ha estado en el aire durante más de un siglo, y aún así establece nuevos estándares para la tecnología de neumáticos de aviones. Desde el desarrollo del primer neumático de avión del mundo en el año 1909 hasta la actualidad, Goodyear continúa desarrollando productos líderes en la industria para todos los sectores de la industria de la aviación.</p>

Fuente: [Goodyear Chile]

3.4 Organigrama general de la empresa

La estructura organizacional de Goodyear Chile está conformada por el Director de Manufactura o Gerente General, Alfredo Gamboa, quien está a cargo de toda la planta de Maipú. A continuación se presenta el diagrama, en el cual se especifican cada área gerencial de la empresa y se enfoca con especial énfasis en el área de Mantenimiento.

Figura 6: Estructura Organizacional de Goodyear de Chile S.A.I.C.



Fuente: [Goodyear Chile]

Engineering Manager Sr

- Responsable del control y seguimiento de los indicadores de mantenimiento atingentes a la planta en su conjunto.
- Liderar a los ETL's de todas las divisiones de la planta en el cumplimiento de las objetivos trazados para la planta de Chile relacionadas al área de ingeniería.
- Validar los trabajos y/o proyectos de ingeniería visados por los diferentes PCT (Plant Communication Team) para su presentación ante el POT (Plant Operational Team).
- Reporta directamente al Director de Manufactura de la planta de Chile.
- Reporta directamente al Engineering Manager de la región de Norteamérica.

ETL (Engineering Team Leader)

- Responsable del control y seguimiento de los indicadores de mantenimiento relacionados con la división.
- Liderar a los equipos de alto desempeño (EAD) en la consecución de los objetivos trazados para el área de ingeniería.

- Validar los trabajos y/o proyectos de ingeniería propuestos desde los equipos de alto desempeño (EAD) como integrante del PCT de división.
- Reporta directamente al Engineering Manager de la planta de Chile.
- No reporta directamente a ningún integrante externo a la planta.

Maintenance Engineer Cutters & Calenders

- Establecer procedimientos y programas de mantenimiento dirigidos a la óptima conservación de los equipos.
- Analizar constantemente los procedimientos de mantenimiento preventivo y los intervalos entre intervenciones para los equipos estratégicos y críticos.
- Sugerir cambios que puedan ayudar a disminuir los costos de mantenimiento y mejorar el factor de servicio.
- Analizar fallas repetitivas utilizando herramientas de análisis metódicas y sistematizadas tales como el análisis Causa- Raíz, comunicar periódicamente los resultados al ETL.
- Analizar indicadores de disponibilidad de los equipos, comunicar periódicamente los resultados al ETL.
- Controlar la puesta en servicio de nuevos equipos.
- Elaborar proyectos de mantenimiento.

Maintenance Programmer

- Recoger reportes y analizar criticidad en conjunto con Maintenance Engineer.
- Revisar inspecciones y analizar criticidad en conjunto con Maintenance Engineer.
- Verificar la disponibilidad de los recursos en conjunto con Planner y Supervisor.
- Programar recursos de acuerdo a plan mensual, trabajos pendientes y adicionales.
- Revisar y consolidar programa diario.
- Publicar y distribuir programa consolidado.
- Manejar índices de cumplimiento de mantención.
- Reportar índices al Maintenance Engineer y al ETL.
- Proponer mejoras.

Maintenance Planner

- Coordinar los recursos materiales necesarios para la intervención.
- Servir como contacto con los fabricantes y/o proveedores originales de los respectivos equipos y mantenerse informados acerca de los nuevos desarrollos efectuados.
- Llevar un control de costos y reportar al ETL.
- Proponer mejoras.

Maintenance Supervisor

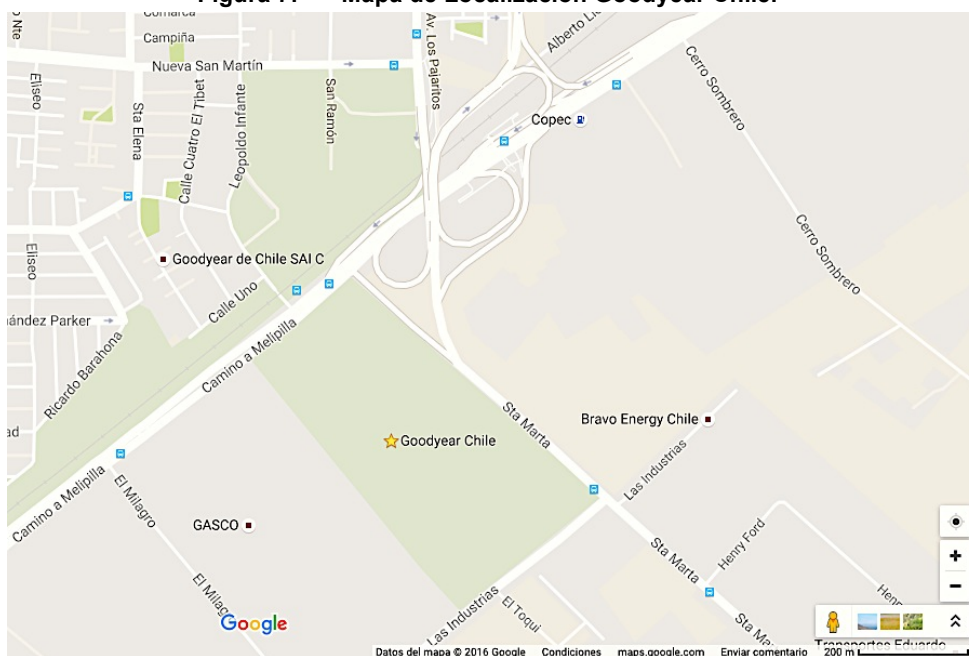
- Coordinar los recursos humanos necesarios para la intervención.
- Realizar charla operacional.
- Analizar riesgos de las actividades programadas para realizar un trabajo seguro.
- Distribuir los trabajos coordinados.
- Aplicar las medidas de mitigación de riesgos a las personas, medio ambiente, equipos y la operación.
- Reportar actividades realizadas al Programmer.

OWNERSHIPS, MECHANICS Y ELECTRICS

- Realizar inspecciones y reportarlas.
- Preparar material y herramientas para el mantenimiento preventivo.
- Ejecutar las actividades programadas de mantenimiento.
- Reportar actividades preventivas al Programmer.
- Reportar actividades correctivas al Programmer.
- Notificar actividades pendientes.
- Proponer mejoras.

3.5 Localización

Goodyear tiene presencia en Chile desde hace muchos años, pero desde el año 1978 opera la fábrica chilena de Goodyear ubicada en Camino a Melipilla Km 16, comuna de Maipú, provincia de Santiago en la Región Metropolitana, posee una superficie total de aproximadamente 18 hectáreas. Está situada cerca de varias industrias como Gasco, Nestlé, Pinturas Sipa, Productos de Acero Proinsa, ENAP Maipú, entre otras. La razón social es Goodyear de Chile S.A.I.C., su Rut es 93.770.000-8 y su giro es Fábrica de Neumáticos, su sitio web es www.goodyear.cl.

Figura 7: Mapa de Localización Goodyear Chile.

Fuente: [google maps]

3.6 Clientes y Proveedores

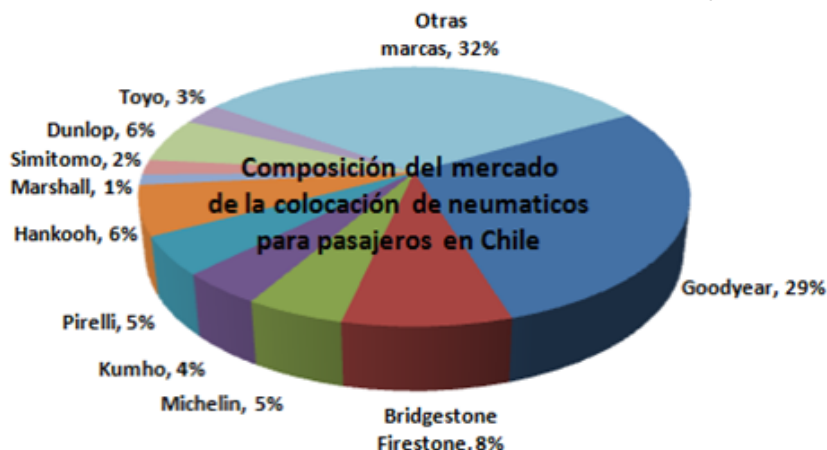
Los clientes de Goodyear de Chile S.A.I.C. son específicamente los países que abastece con el 90% de su producción que se exporta. En Chile, con el 10% restante más un 5% que se importa es lo que se traduce en el mercado nacional (servitecas, flotacentros, clientes particulares, etc.).

Los proveedores de Goodyear de Chile S.A.I.C. son de vital importancia para el resultado de calidad de los productos. Los proveedores de materias primas son solamente abastecedores internacionales. Para los proveedores de servicios, equipos y activos fijos, estos son nacionales, entre ellos se encuentran Ossa máquinas LTDA, que proporciona soluciones y construcción de NPT (Non Powered Transportation) a la planta, e IngeServ, que proporciona soporte y soluciones a los problemas que surgen en planta.

3.7 El mercado

El mercado de productos de neumáticos cuenta con numerosos competidores, siendo Goodyear Chile S.A.I.C. una de las con mayor participación en el mercado con un 29%. Las principales Empresas competidoras son: 32% OTH, Dunlop 6.4%, Hankook 6%, Pirelli 5%, Kumho 4%, Michellin 5% y Firestone/Bridgestone 8%.

Gráfico 1: Composición del mercado de neumáticos para pasajeros en Chile.



Fuente: [Goodyear Chile]

Los canales de distribución de Goodyear Chile S.A.I.C. a nivel nacional son internos y son realizados por medio de Supply Chain, que distribuye todos los neumáticos tanto a nivel nacional como a nivel internacional.

3.8 Otras Áreas de la Empresa

Goodyear cuenta con distintas áreas de trabajo, las cuales se vinculan y trabajan en equipo para lograr obtener un producto con estándares elevados y mantener la administración de la empresa, estas son:

- Producción: Esta área está encargada de mantener la cuota de producción establecida y autorizada para Goodyear Chile S.A.I.C. Esta área está dividida en 2, División A y B.
- División A: Es la encargada de todo el procesamiento de las materias primas, donde se elaboran cada una de las partes de un neumático.
- División B: Es cliente Interno de la División A y es la encargada de la construcción y vulcanización del neumático en verde junto con la revisión del curado del neumático e inspección final.
- Ingeniería: Esta área se dedica tanto a las mejoras como al correcto funcionamiento de las máquinas y futuros proyectos de la planta.
- Costos: Encargada de la gestión y revisión de todas las órdenes y guías de despacho realizadas por la planta, junto con el seguimiento de los gastos y costos de cada área.
- Ingeniería industrial: Área dedicada al estudio y planificación de la producción en la planta (delimitación de espacios a utilizar por máquinas, cotas, etcétera).
- Calidad (QTECH): Es la encargada de la calidad y la tecnología empleada en la fabricación del producto.

- Proyectos: Encargada de realizar todos los proyectos de construcción, edificación e instalación para la planta.
- Compras: Se encarga de la zona contable de la fábrica. Además, tiene que ver todo lo relacionado con la compra de insumos a proveedores, procurando siempre minimizar los costos de la empresa.
- IT: Esta área se encarga de todo el funcionamiento tecnológico de los sistemas de la planta tanto en computación como telefonía, conectividad, etc.
- Comercial y Supply Chain: Área a cargo de la venta del producto tanto a nivel nacional como internacional. Es el área que tiene el primer contacto con el cliente y asegura la disponibilidad de los productos, en tiempos establecidos en conjunto por los clientes y la empresa.
- Logística: Encargada de ordenar y mantener todos los productos entregados por el área de producción. Además, está encargado del despacho del producto a clientes y de los materiales en bodega.
- Recursos Humanos: Se encarga del personal, ya sea la selección y el reclutamiento, como también los beneficios para los actuales empleados.

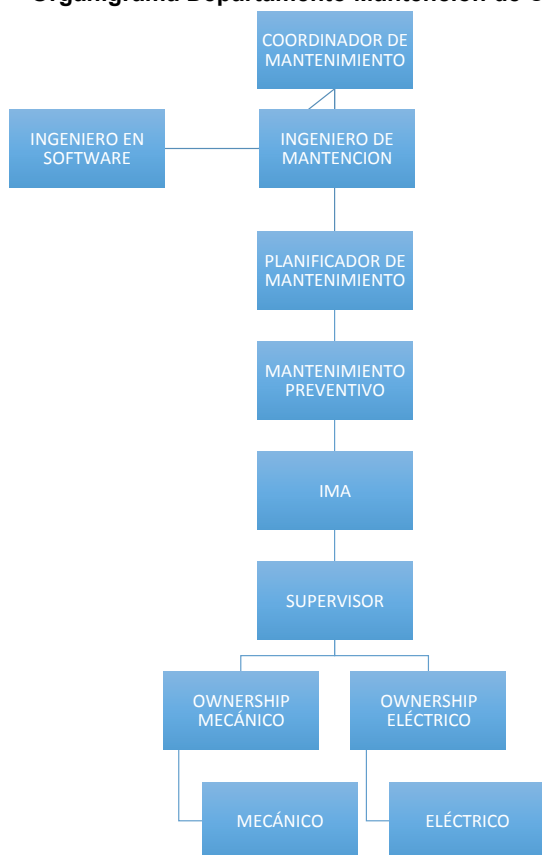
Capítulo IV Departamento de Mantenición.

4.1 Descripción del Departamento de Mantenición

El departamento de Mantenición depende de la gerencia de ingeniería. El gerente tiene a cargo a 3 ingenieros quienes son la cabeza del departamento, quienes manejan gran parte del funcionamiento de la planta tomando en cuenta cada día las máquinas que no estarán disponibles por mantención.

Existe también un ingeniero de mantención a cargo del estudio de fallas, quien en conjunto con un planificador, realiza el plan maestro de mantención. Dicho plan en reiteradas ocasiones es postergado debido a fallas en otras máquinas lo que impide finalmente llevar a cabo el plan inicial.

Figura 8: Organigrama Departamento Mantenición de Calandras y Cortadoras.



Fuente: [Goodyear Chile]

4.1.1. Funcionamiento del Mantenimiento Correctivo en Steelastic

Existe un conducto a seguir en caso de alguna falla en el área, conocido por los operarios y el personal de mantención.

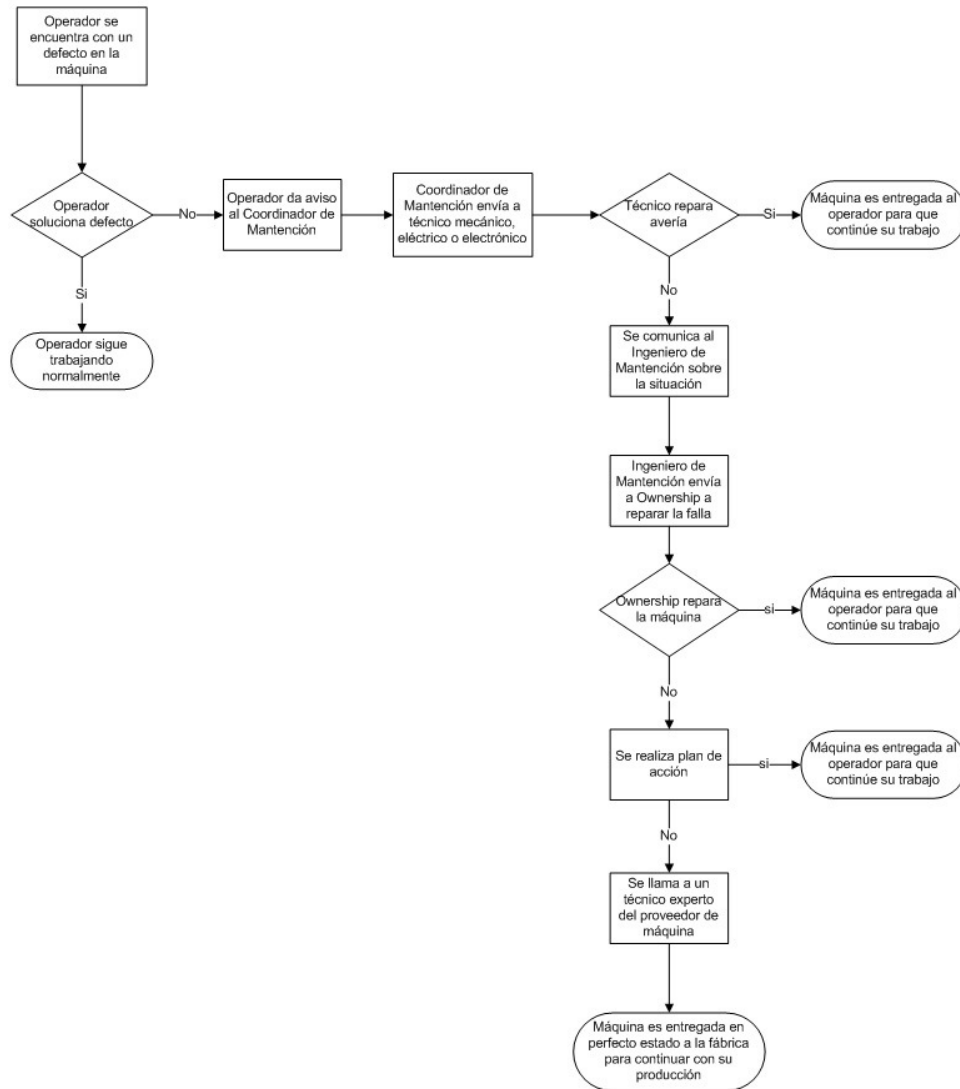
Si se presenta algún problema en una de las máquinas de Steelastic, en primera instancia el operador verifica de qué se trata, si no es capaz de arreglar el problema se procede a llamar al coordinador de mantención que en conjunto con el operador revisa la máquina y dependiendo del tipo de falla encontrada, lo deriva a un mecánico, eléctrico o electrónico según corresponda. Cabe señalar que estos últimos trabajadores pertenecen a la empresa contratista IMA.

Luego de encontrada la falla los técnicos revisan la máquina y reparan la avería, si persiste se comunica al ingeniero de mantención sobre la situación, el cual se informa de lo previamente realizado para finalmente derivar al ownership (trabajador perteneciente al staff de mantención preventiva que posee basto conocimiento sobre la máquina, por lo tanto, está altamente capacitado para dejar la máquina en óptimas condiciones).

En caso de que el ownership de mantención no pueda solucionar la falla, se aplica un plan de acción, se analiza el historial de falla y se buscan las más repetitivas que puedan estar ocasionando la avería, se trabaja en esas potenciales fallas y con esto la máquina debería quedar funcionando sin problema.

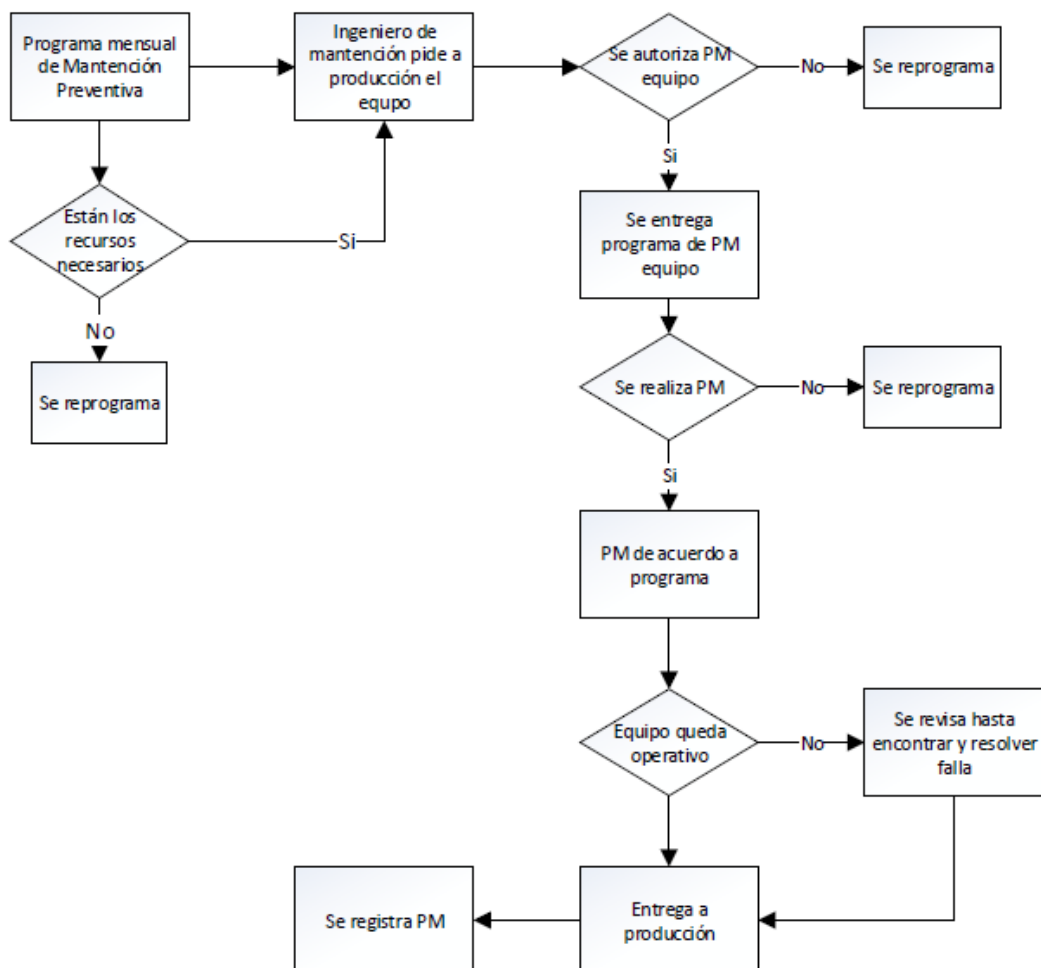
Como última opción, en caso de que después de haber aplicado el plan de acción la máquina siga fallando, la empresa se comunica con el proveedor de máquinas, en este caso Steelastic, y pide enviar un técnico experto, con esto la máquina debe quedar funcionando sin problemas.

Figura 9: Diagrama de Flujo Actualizado en Caso de Mantenimiento Correctiva en Steelastic.



Fuente: [Elaboración propia]

Figura 10: Diagrama de Flujo de Mantenimiento Preventivo en Steelastic.



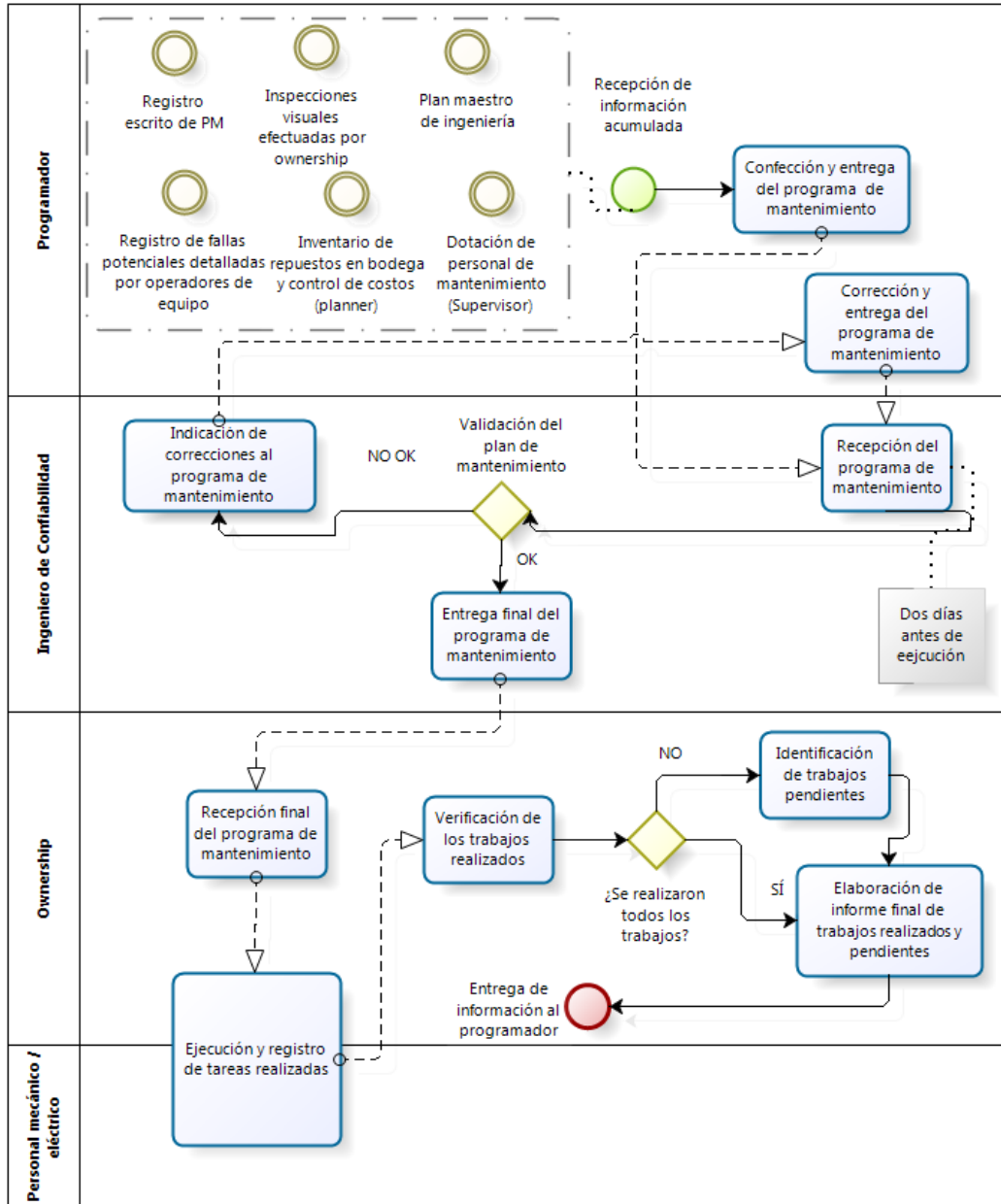
Fuente: [Elaboración propia]

4.1.2. Funcionamiento del Mantenimiento Preventivo en Steelastic

Para planificar la mantenimiento Preventiva del área de Preparatoria deben tomarse en cuenta varios factores como los recursos, el personal, el plan de mantenimiento existente, entre otros. El Maintenance Programmer se encarga de recoger todos los datos e información y en conjunto con el Planner del área realizan una calendarización mensual de las máquinas a ser intervenidas por Mantenimiento Preventiva. Semana a semana se van programando las actividades a realizar para cada máquina en conjunto con un backlog (actividades pendientes). El Programmer entrega un plan de mantenimiento diario y el supervisor lo hace cumplir en piso con el personal entregando las herramientas necesarias para que el

mecánico o eléctrico pueda cumplir con su trabajo. El plan de mantención diario mencionado anteriormente está confeccionado a raíz de la información que el supervisor y el Maintenance Engineer entregan al Programmer.

Figura 11: Diagrama de Mantención Preventiva basado en responsabilidades de cada Cargo



Fuente: [Elaboración propia]

Capítulo V Situación actual.

5.1. Descripción del proceso productivo del área Steelastic

El área de Steelastic tiene como responsabilidad abastecer de tratamientos de acero a las maquinas HF del área de construcción de neumáticos (HVA).

El proceso productivo de Steelastic comienza con el traslado de los alambres de acero desde bodega al Creel Room (Cuarto Seco), acá se disponen una serie creels que tienen una gran cantidad de ejes de metal donde van cargados los carretes de alambres de acero. En estos carretes el acero va confinado en delgadas hebras con distinta cantidad de filamentos. Dependiendo del tipo de tratamiento que se desea realizar, existen dos tipos de alambre, pueden ir de a dos (WL) o cuatro (VW). Estos se enhebran según tipo y EPI (cantidad de hebras por pulgada), el inserto tiene una cantidad de orificios dependiendo de la cantidad de hebras con que se realizará el tratamiento. Luego el inserto se coloca en un porta inserto y se junta con una plantilla que da el espesor, y se ensambla en la cabeza de la tubera.

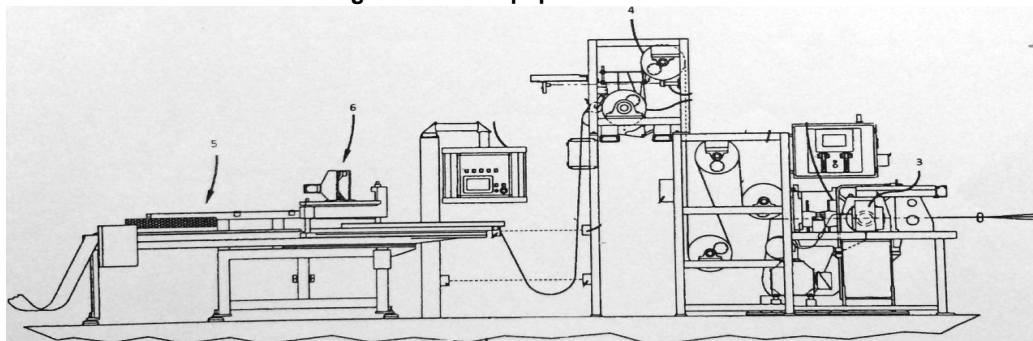
Posteriormente el compuesto se traslada a la tolva de cada extrusora, donde es homogenizado a una temperatura no mayor a 104°C, con el compuesto listo para ser utilizado se comienza a calandrar el acero. Como producto de este proceso se obtiene una banda de acero recubierto de goma a una temperatura elevada, con un pequeño labio de goma en una de las orillas. Esta banda de acero calandrado se hace pasar por unos rodillos enfriadores, se dispone de varios rodillos de diferentes temperaturas, si la goma se enfría de golpe se produce blooming. La temperatura de salida de la banda de acero no debe superar los 32°C. Luego la banda pasa al cortador, que se dispone en la mesa de corte y empalme que trabaja con una bomba de vacío, ésta succiona la banda y la mueve, el cortador utiliza un cuchillo a alta temperatura para realizar un corte a la banda de acero con un ángulo que bordea los 24° a 27°, luego la bomba la succiona, la vuelve a mover y la acomoda para empalmar con el próximo corte y así sucesivamente.

Inmediatamente después del empalme, el breaker o banda de acero, pasa al aplicador de huincha sólo si así lo requiere el tipo de neumático al cual está destinado, esta huincha llamada gumstrip viene enrollada en polietileno, por lo que varios rodillos van aplicando la huincha y otros envolviendo el polietileno que fue separado del gumstrip.

Finalmente, el breaker es enrollado en la zona de wind up, donde se dispone de un carrete grande llamado spool, que enrolla el breaker en tela para que no se pegue, cuando éste completa su máxima capacidad es trasladado a supermercado de breaker, donde sale a la zona de construcción.

5.2. Composición del Equipo, Steelastic

Figura 12: Equipo Steelastic.



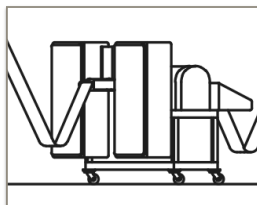
Fuente: [Goodyear Chile]

❖ Subsistemas de Steelastic

Dentro del área de Steelastic existen siete subsistemas, los que se describen a continuación:

1. Aplicador de Huincha: Compuesto por 2 rodillos por lado que aplican una huincha de goma en la orilla del Breaker, llamada "Gumstrip". Este aplicador de huincha trabaja a 38 RPM con una velocidad de 13,1 m/min.

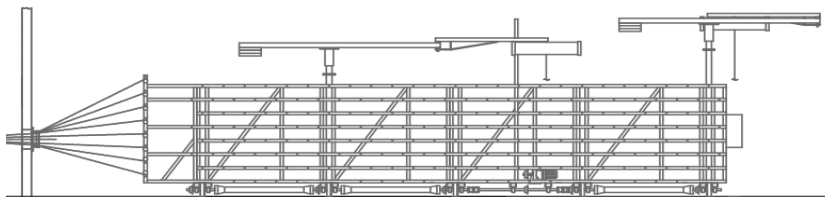
Figura 13: Aplicador de Huincha.



Fuente: [Goodyear Chile]

2. Creel: Cuarto seco, donde se almacenan los hilos de acero a una temperatura y humedad adecuada, para que estos no se oxiden.

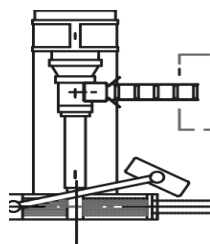
Figura 14: Vista lateral Creel.



Fuente: [Goodyear Chile]

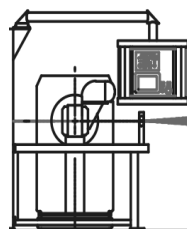
3. Extrusora: Eleva a una temperatura adecuada el compuesto para luego darle forma.

Figura 15: A la izquierda vista superior Extrusora.



Fuente: [Goodyear Chile]

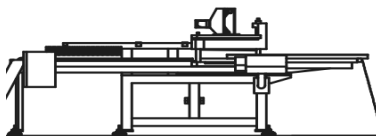
Figura 16: A la derecha vista lateral Extrusora.



Fuente:[Goodyear Chile]

4. Mesa de corte y empalme: corta el material con un ángulo específico y luego lo une.

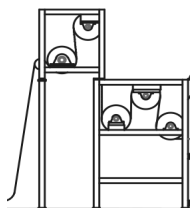
Figura 17: Vista lateral mesa de corte y empalme.



Fuente: [Goodyear Chile]

5. Rodillos Enfriadores: Compuesto por varios rodillos que cumplen la función de bajar la temperatura del caucho unido a los hilos de acero.

Figura 18: Vista lateral Rodillos enfriadores.

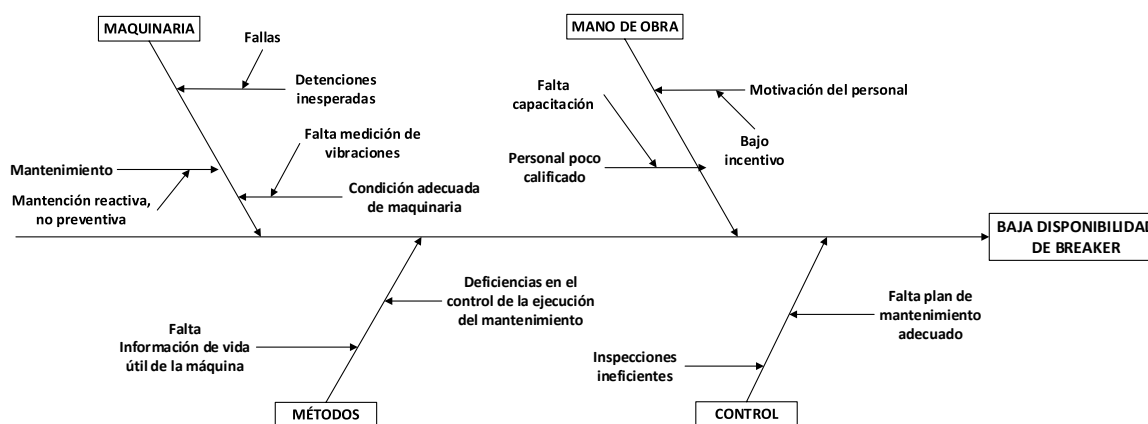


Fuente: [Goodyear Chile]

6. TCU's: Intercambiador de calor de la máquina.
7. Windup: Lugar donde se enrolla el spool y termina el proceso para llevar el compuesto a supermercado de breaker.

5.3. Análisis de causas del problema

Figura 19: Diagrama causa - efecto.



Fuente: [Elaboración Propia]

En la figura 19 se muestra el problema principal, baja disponibilidad de Breaker, el que se establece en la cabeza de espina de pescado. Se establecen como posibles causas las categorías de maquinaria, mano de obra, control y métodos, las que se detallan a continuación.

- **Maquinaria**, en esta categoría se observan las siguientes causas: las mantenciones se realizan de forma reactiva y no preventiva, esto se traduce en altos costos de mantención y baja productividad. También se aprecia un elevado número de detenciones inesperadas de la maquinaria producidas por diversas fallas; Además es posible que la maquinaria no esté trabajando en condiciones adecuadas ya que no se miden las vibraciones, lo que puede provocar aumento en las fallas.
- **Mano de obra**, se observan dos causas principales, personal poco calificado debido a la falta de capacitación; Además hay baja motivación por parte del personal debido a bajos incentivos en relación a la productividad y metas cumplidas.
- **Control**, en esta categoría se observan las siguientes causas: Inspecciones ineficientes, ya que se basan en documentación que el personal debe completar y no refleja la realidad; Falta plan de mantenimiento adecuado.
- **Métodos**, en esta categoría se observan la siguientes causas: deficiencia en el control de la ejecución del mantenimiento y falta información de vida útil de la maquinaria.

El área de Steelastic tiene 6 líneas. Para efectos de este proyecto se analizará Steelastic 2, puesto que presenta el menor promedio de OEE durante el año 2014, además puede observar en la Tabla 5 que las demás líneas de Steelastic también poseen un bajo porcentaje el cual se aleja de los estándares de la empresa que corresponde a un 78%. Dicho valor se ha definido mediante un estudio de las líneas de Steelastic tanto a nivel nacional como internacional.

Tabla 5: Resumen OEE área Steelastic año 2014

Steelastic	ene-14	feb-14	mar-14	abr-14	may-14	jun-14	jul-14	ago-14	sep-14	oct-14	nov-14	dic-14	PROMEDIO
Steel1	52,7%	55,1%	55,9%	51,9%	57,7%	63,7%	62,7%	64,4%	78,7%	64,2%	60,1%	68,4%	61,3%
Steel2	44,0%	42,7%	49,7%	54,4%	56,3%	55,2%	56,0%	56,5%	47,8%	56,1%	52,5%	29,5%	50,1%
Steel3	57,0%	45,0%	60,3%	57,8%	59,0%	57,5%	63,2%	69,9%	63,7%	68,9%	51,6%	59,4%	59,4%
Steel4	73,2%	73,2%	71,2%	74,0%	71,1%	72,9%	74,7%	68,5%	76,0%	72,2%	75,6%	73,6%	73,0%
Steel5	57,4%	59,0%	61,2%	62,9%	59,1%	61,2%	61,8%	66,8%	61,4%	63,9%	61,0%	57,8%	61,1%
Steel6	67,0%	69,2%	74,9%	67,4%	68,6%	69,4%	68,4%	61,0%	67,1%	64,1%	66,2%	65,0%	67,4%
PROMEDIO	58,5%	57,4%	62,2%	61,4%	62,0%	63,3%	64,5%	64,5%	65,8%	64,9%	61,2%	59,0%	62,0%

Fuente: [Elaboración propia]

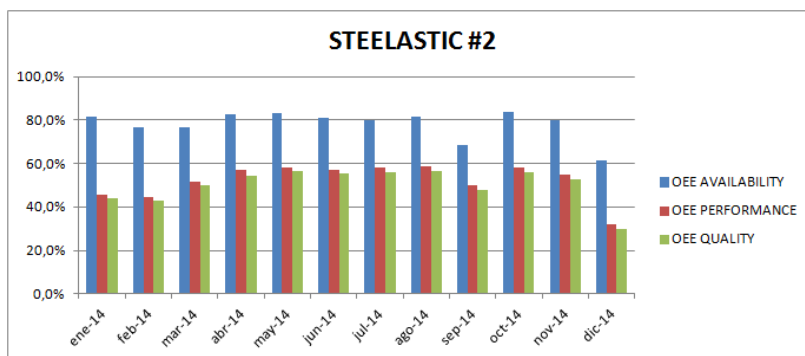
5.4. El OEE de Steelastic

Como ya se hizo mención, el OEE se calcula en base a tres factores principales:

- La Disponibilidad
- El Rendimiento
- La Calidad

En el gráfico N°2 se muestran las tres variables de OEE para Steelastic 2 correspondientes al año 2014.

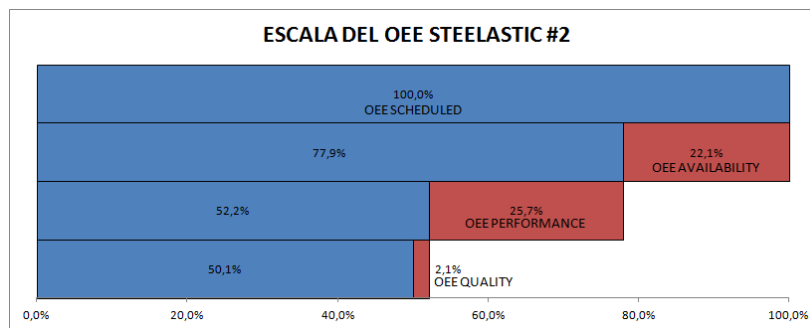
Gráfico 2: OEE desglose de Steelastic#2 correspondiente a 2014.



Fuente: [Elaboración propia]

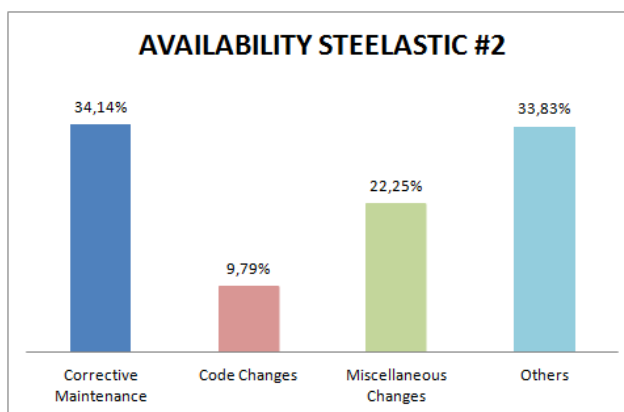
El gráfico N°3 muestra el impacto de disponibilidad, rendimiento y calidad de Steelastic 2 durante el año 2014.

Gráfico 3: Escala OEE Steelastic #2 año 2014.



Fuente: [Elaboración propia]

Gráfico 4: Escala OEE Steelastic #2 año 2014.



Fuente: [Elaboración propia]

5.5. Costos de Mantenciones Correctivas

El área de mantención desconoce los costos de las fallas por máquina, sólo se limita a registrar gastos por división, estas son A y B, por lo que no se sabe cuánto se gasta específicamente por mantenciones correctivas.

De acuerdo a la tabla N°6 se realiza una aproximación de los gastos provocados por fallas inesperadas correspondientes al año 2014.

5.5.1 Gastos Directos de Reparaciones en Steelastic

Tabla 6: Gastos Directos de Reparaciones en Steelastic año 2014

DESCRIPCIÓN	Mes	Monto
APLICADOR DE HUINCHA STEELASTIC 6	sep-14	35.000.000
CAMBIO 2 COMPRESORES CHILLE CUARTO SECO	nov-14	5.340.000
FABRICACION DE PROTECCION AREA STEELASTIC	jun-14	3.550.000
MESA DE ENTRADA STEELASTIC	ago-14	3.451.212
MESA DE ENTRADA MAQUINA STEELASTIC	sep-14	3.451.212
PLACA GRADUADA CORTADOR STEELASTIC PARA 3 MAQUINAS SECTOR CORTADOR	jul-14	1.877.000
ANALISIS DE VIBRACIONES, ALINEAMIENTO Y MANTENCIONES A MOTORES DIV B	feb-14	1.400.000
MESA DE ENTRADA MAQUINA STEELASTIC WIND UP (ORDEN ABIERTA)	jul-14	1.273.200
CONJUNTO TORNILLO/TUERCA DE REGULACION PARA APLICADOR DE HUINCHA (SE UTILIZARA COMO ORDEN ABIERTA)	ago-14	1.258.600
KIT DE VACÍO MAQUINAS STEELASTIC	jul-14	969.932
MESA DE ENTRADA MAQUINA STEELASTIC WIND UP (ORDEN ABIERTA)	jun-14	967.700
MODIFICACIÓN PLATO APLICADOR DE HUINCHA STEELASTIC	ago-14	709.500
CARRO Y RIEL STEELASTIC	jun-14	619.632
SERVICIO REPARACION INSTALACIONES CUARTO	nov-14	500.000
RELOJ COMPARADOR STEELASTIC	nov-14	475.200
ENGRANAJES STEELASTIC ST# 4	may-14	458.500
FABRICACIÓN DE BUJE CORTADOR STEELASTIC	may-14	396.100
RODAMIENTO MCGILL STEELASTIC	nov-14	321.600
REPARACION DRIVE STEELASTIC 15 KW	jun-14	300.000
BASE METALICAS ALFOMBRA STEELASTIC	jul-14	278.000
REPARACIÓN PORTACUCHILLO STEELASTIC	jul-14	237.850
CAJA DE BORNES RAL 7035, PARA MAQ. STEELASTIC	nov-14	140.400
ANALISIS DE VIBRACIONES A MOTORES DIV B	ago-14	97.270
Total		63.072.908

Fuente: [Goodyear Chile]

5.5.2 Gastos de Mano de Obra y Artefactos

Los datos expuestos en la tabla N°7 son una estimación de los gastos en mano de obra y repuestos en mantenciones durante el año en estudio.

Tabla 7: Gastos Mano de Obra y Artefactos durante el 2014

DESCRIPCIÓN	Mes	Monto
DIV-B: MC - PREPARATORIA	Ene-14	10.797.299
SOBRETIEMPO	Ene-14	2.654.939
TALLER MECANICO – PREPARATORIA	Ene-14	2.080.172
ING. MANTENIMIENTO - PREPARATORIA	Ene-14	789.464
RENOV.LUBRICATION HILUB 2014	Ene-14	2.106.731
MANTENCIÓN DE EQUIPOS AC	Ene-14	426.027
SERVICIO ADICIONAL HILUB - ENE A DIC 2014	Ene-14	419.020
RADIOS INGENIEROS DE MANTENIMIENTO	Ene-14	656.000
DIV-B: MC - PREPARATORIA	Feb-14	12.280.789
SOBRETIEMPO	Feb-14	3.050.460
ING. MANTENIMIENTO - PREPARATORIA	Feb-14	783.578
TALLER MECANICO - PREPARATORIA	Feb-14	1.806.268
RENOV.LUBRICATION HILUB 2014	Feb-14	2.106.731
DIV-B: MC - PREPARATORIA	Mar-14	16.734.562
SOBRETIEMPO	Mar-14	3.427.394
TALLER MECANICO - PREPARATORIA	Mar-14	2.158.850
ING. MANTENIMIENTO - PREPARATORIA	Mar-14	1.094.212
RENOV.LUBRICATION HILUB 2014	Mar-14	2.106.731
DIV-B: MC - PREPARATORIA	Abr-14	13.743.760
SOBRETIEMPO	Abr-14	4.379.185
TALLER MECANICO - PREPARATORIA	Abr-14	2.179.413
ING. MANTENIMIENTO - PREPARATORIA	Abr-14	1.247.779
RENOV.LUBRICATION HILUB 2014	Abr-14	2.106.731
DIV-B: MC - PREPARATORIA	May-14	13.893.509
TALLER MECANICO - PREPARATORIA	May-14	2.056.589
ING. MANTENIMIENTO - PREPARATORIA	May-14	1.353.381
SOBRETIEMPO	May-14	5.619.086
RENOV.LUBRICATION HILUB 2014	May-14	2.106.731
DIV-B: MC - PREPARATORIA	Jun-14	13.375.525
SOBRETIEMPO	Jun-14	1.978.513
TALLER MECANICO - PREPARATORIA	Jun-14	2.058.350
ING. MANTENIMIENTO - PREPARATORIA	Jun-14	1.422.885
SERVICIO ESPECIALIZADO LUBRICACION	Jun-14	377.118
DIV-B: MC - PREPARATORIA	Jul-14	11.329.624
SOBRETIEMPO - PREPARATORIA	Jul-14	2.810.106
TALLER MECANICO - PREPARATORIA	Jul-14	1.963.256
ING. MANTENIMIENTO – PREPARATORIA	Jul-14	1.321.666
	Total	150.802.434

Fuente: [Goodyear Chile]

5.6. Historial de Fallos

La muestra a utilizar corresponde al año 2014 y son recopilados en un periodo de 12 meses en el área Steelastic.

Primero se tabularon los datos, luego se ordenaron en base a la máquina que se va a analizar, y se tabulan nuevamente por los meses a utilizar para el estudio. En esta misma tabla se encuentran los tiempos de detención relacionados a las fallas registradas por los operarios de las máquinas, en un informe que ellos preparan al finalizar su turno. Historial de fallos en Anexo 2.

5.7. Análisis de Pareto

El Principio de Pareto, es también conocido como “Diagrama 80/20, o ABC”, afirma que en todo grupo de elementos o factores que contribuyan a un mismo efecto, unos pocos de estos factores son responsables de la mayor parte de dicho efecto, donde el 20% de los elementos o factores, son los que causan el 80% de los efectos. (www.fundibeq.org).

El objetivo de realizar este análisis es para clasificar dichos elementos o factores en dos categorías: Los “Pocos Vitales”, estos son elementos muy importantes en su contribución, y los “Muchos Triviales”, son elementos poco importantes o con una baja contribución. (www.fundibeq.org).

Mediante los resultados del análisis de Pareto podremos clasificar los subsistemas de Steelastic y así concentrarnos sólo en los “Pocos Vitales”.

El procedimiento de realización de este análisis es:

- Preparar los datos
- Realizar una Tabla de Pareto, en la que se anota cada elemento con su respectiva magnitud, luego se ordenan de mayor a menor, según su magnitud. Calcular la magnitud total.
- Calcular porcentaje de cada elemento y porcentaje acumulado
- Realizar un Gráfico de Barras, el que representa el efecto de cada elemento.
- Los ejes del Gráfico deben ser de la siguiente manera:
 - Horizontal: Contiene los elementos o factores.
 - Vertical Derecho: Representa la magnitud de los porcentajes acumulados.
 - Vertical Izquierdo: Representa la magnitud de cada efecto.
- Sobre la gráfica anterior se traza una gráfica lineal, la que representa el porcentaje acumulado de la Tabla de Pareto.
- Señalar el o los elementos “Pocos Vitales” y los “Muchos Triviales”.

5.7.1 Desarrollo del Procedimiento para el Análisis de Pareto

Tabla 8: Pareto para fallas

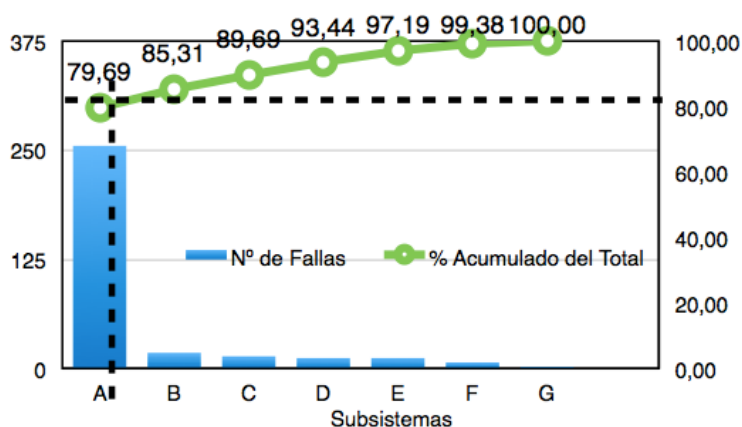
	SUBSISTEMA	Nº de Fallas	% de Fallas	% Acumulado	Costos anuales en repuestos	% de costos
A	MESA DE CORTE Y EMPALME	255	79,6875	79,6875	40.927.524	63%
B	EXTRUSORA	18	5,63	85,31	3.097.231	5%
C	WINDUP	14	4,38	89,69	5.608.948	9%
D	CREEL	12	3,75	93,44	1.064.725	2%
E	APLICADOR DE HUINCHA	12	3,75	97,19	461.360	0,7%
F	RODILLOS ENFRIADORES	7	2,19	99,38	99.404	0,2%
G	TCU'S	2	0,63	100,00	21.745	20%
	Total Fallas	320			64.466.742	

Fuente: [Elaboración propia]

Luego de ordenar los datos, se puede realizar el Diagrama de Pareto. El cual es realizado para poder distinguir de manera clara la información obtenida en la tabla N°8 y visualizar los factores "Pocos Vitales".

5.7.2 Diagrama de Pareto

Gráfico 5: Diagrama de Pareto.



Fuente: [Elaboración propia]

Del Gráfico N°5 se observa que 1 de los 7 subsistemas falla con mayor frecuencia en un periodo de tiempo de 12 meses. El subsistema A, es el “Poco Vital” ya que en él se concentra el 80% de las fallas dentro del área Steelastic. Debido a que el subsistema A, Mesa de Corte y Empalme, concentra el 79,69% de las fallas totales y marca una tendencia, nuestro estudio se centrará en dicho subsistema. Además, en la tabla N°8 se observa que es el subsistema con costos anuales más elevados en repuestos, lo que valida la importancia de centrar los objetivos en este subsistema.

5.8. Análisis de Criticidad

El análisis de Criticidad es una metodología o herramienta que permite establecer jerarquías o prioridades entre instalaciones, equipos, sistemas o elementos de un equipo, tomando en cuenta sus efectos en la población, producción, instalación, ambiente y población. La estructura que forma logra apoyar y facilitar la toma de decisiones, enfocando el esfuerzo y los recursos donde será más necesario y/o importante mejorar la confiabilidad operacional.

¿Cómo se establece que una planta, proceso, sistema o equipo, es más crítico que otro? ¿Qué criterios se deben utilizar? ¿Todos los que toman decisiones, utilizan los mismos criterios? El Análisis de Criticidad entrega la respuesta a estas interrogantes, ya que genera una lista de elementos ponderados desde el que tiene la criticidad más alta hasta el menos crítico de los elementos analizados. (O’Connor, P. Practical Reliability Engineering. 4ta).

Se puede obtener esta lista y seleccionar los elementos con las criticidades más altas podremos diseñar un plan de mantenimiento que esté centrado en mejorar la confiabilidad operacional.

5.8.1 Aplicación del Análisis de Criticidad

5.8.1.1 Identificación de Equipo a Analizar

La planta de Goodyear Santiago, cuenta con 6 líneas en el área de Steelastic, para la producción de telas de acero. El estudio se centrará en el equipo Steelastic. Luego se nombran los componentes y las funciones que realizan cada uno.

5.8.1.2 Descripción del equipo Steelastic

El equipo Steelastic tiene como función realizar el recubrimiento de las hebras de acero, las que posteriormente son cortadas y empalmadas según la especificación dada y en el caso que se requiera, agrega en el costado un recubrimiento.

El equipo Steelastic está compuesto por siete subsistemas, estos son:

- Aplicador de huincha
- Creel
- Extrusora
- Mesa de corte y empalme
- Rodillos enfriadores

- TCU
- Windup

5.8.2 Criterios Utilizados para el Estudio de Criticidad

Para utilizar el análisis de Criticidad, se deben definir los conceptos y parámetros que se utilizaran en la fórmula matemática. Es por esto que se hace necesario la explicación de los conceptos de consecuencia y frecuencia.

Para la realización de este estudio se deben tomar en cuenta la mayor cantidad de datos históricos registrados por los operarios del equipo, estos deben demostrar el comportamiento que ha tenido el equipo, en un periodo de 12 meses. Dichos datos serán necesarios para obtener información del comportamiento de las fallas y sus causas.

Se clasificaron los datos registrados, basados en los conceptos de criticidad y frecuencia, asignándole una ponderación a cada uno de ellos para luego determinar el grado de criticidad de cada pieza que compone el equipo a estudiar.

A continuación se definen los conceptos de Frecuencia y Consecuencia, por los que se compone el criterio de Criticidad (Amendola, 2006):

Criticidad = Frecuencia de Falla X Consecuencia

- Donde: Consecuencia = a + b

- a = costo reparación + impacto seguridad personal + impacto ambiental

- b = impacto en la producción X tiempo promedio en reparar

5.8.2.1 Frecuencia de Falla

La frecuencia de falla representa el número de eventos que causan la disminución total o parcial de la capacidad de producción de un equipo o sistema, el que es causado por la falla de algún componente de dicho sistema y que afecta el funcionamiento normal por un período de tiempo determinado (Amendola, 2006).

Para la determinación de lo anterior, observe la tabla N°9 (Frecuencia de fallas), la que se basa en el histórico de fallas, en ésta se clasifica en cuatro el número de fallas, donde la ponderación máxima asignada de frecuencia de falla es 4 y la mínima de 1.

Tabla 9: Frecuencia de fallas

Frecuencia (Fallas/12 Meses)	Valor
Sobre 18 por cada 12 meses	4
Entre 8 y 17 por cada 12 meses	3
Entre 5 y 7 por cada 12 meses	2
Menos de 4 por cada 12 meses	1

Fuente: [Elaboración Propia con datos de Goodyear]

5.8.2.2 Consecuencia

Se refiere al efecto que provocan los diversos factores, sobre la normal operación realizada por un equipo o sistema [Amendola. 2006]. Los factores a considerar son:

- Costes de Reparación.
- Tiempo de Detención.
- Impacto Ambiental.
- Impacto en Seguridad.
- Impacto en la Producción.

Para obtener un cálculo de consecuencia preciso, se debe definir, valorizar y finalmente tabular cada uno de los factores por separado, esto se observa en la tabla N°10 donde se otorgan ponderaciones de acuerdo al grado de efecto que estas ejercen sobre el proceso, estas ponderaciones fueron asignadas en conjunto a personal de la empresa y tomando en cuenta sus parámetros.

Tabla 10: Valoración de las consecuencias

Descripción de las Consecuencias	Valor
Costos de reparación altos, tiempos de detención altos, fallecimiento de personal, daño ambiental severo, irreversible (fuera de las instalaciones), alto impacto en la producción.	5
Costos de reparación medios-altos, tiempos de detención medios-altos, personal con lesiones o heridas con incapacidad permanente, contaminación o daño ambiental reversible (fuera de las instalaciones), impacto en la producción medio-alto.	4
Costos de reparación medios, tiempos de detención medios, personal con lesiones o heridas con incapacidad temporal, contaminación o daño ambiental reversible (dentro de las instalaciones), impacto en la producción medio.	3
Costos de reparación medios-bajos, tiempos de detención medios-bajos, personal con lesiones o heridas leves sin incapacidad, contaminación o daño ambiental (dentro del área del equipo), impacto en la producción medios-bajos.	2
Costos de reparación bajos, tiempos de detención bajos, personal sin lesiones o heridas, sin contaminación o daño ambiental, impacto en la producción bajo.	1

Fuente: [Elaboración Propia con datos de Goodyear]

5.8.2.3 Factor Costo de Reparación (FCR)

Son todos los costos finales asociados a la reparación de un sistema o equipo, en los que el departamento de mantenimiento debe incurrir al solucionar todo tipo de desperfecto, para que de esta forma el equipo vuelva a funcionar en sus condiciones óptimas de operación [Amendola, 2006].

Se consideran los siguientes costos: Horas Hombre (HH) y costos estimados por concepto de repuestos para cada desperfecto. Se utilizará como ponderación máxima asignada de 5 y un mínimo de 1, donde 5 se le asignará al factor más alto tabulado.

Para el cálculo se utiliza el sueldo promedio de un trabajador, para el área de mantenimiento, por 45 horas de trabajo semanales, incluyendo bonos, movilización y otros. Luego calcula el que será el costo promedio para la estimación del costo HH.

Tabla 11: Valoración de Factor Costo de Reparación

Factor Costo de Reparación (Repuestos y HH.)	Valor
Sobre \$ 440.001	5
Entre \$ 240.001 – 440.000	4
Entre \$ 6.501 – 240.000	3
Entre \$ 2.781 – 6.500	2
Menor \$ 2.780	1

Fuente: [Elaboración Propia con datos de Goodyear]

5.8.2.4 Factor Tiempo de Detención (FTD)

Es la cantidad de tiempo aproximado en minutos registrados por los operadores del equipo, se considera desde el momento en que la falla se produce, hasta que se retorna a la normalidad de operación del sistema (Amendola, 2006). La ponderación utilizada será en el rango de 1 a 5, donde 5 es la máxima, a la que se le asigna el factor más alto tabulado.

El tiempo tabulado está basado en el histórico de fallas, el que se obtuvo de los tiempos que produjo cada detención inesperada.

Tabla 12: Valoración de Factor Tiempo de Detención

Factor Tiempo de Detención(FTD)	Valor
Sobre 89 Minutos	5
Entre 60 y 88 Minutos	4
Entre 40 y 59 minutos	3
Entre 26 y 39 Minutos	2
Menor a 25 Minutos	1

Fuente: [Elaboración Propia con datos de Goodyear]

5.8.2.5 Factor Impacto de Seguridad (FIS)

Son las consecuencias en su integridad física y salud, que una falla puede ocasionar sobre las personas [Amendola, 2006]. Se utiliza una ponderación de rango 1 a 5 donde 5 es el máximo, esta ponderación se le asigna al factor tabulado más alto.

Tabla 13: Valoración de Factor Impacto en Seguridad

Factor Impacto en Seguridad (FIS)	Valor
Fallecimiento de personal	5
Personal con Lesiones o Heridas con incapacidad Permanente	4
Personal con Lesiones o Heridas con incapacidad Temporal	3
Personal con Lesiones o Heridas leves sin incapacidad	2
Personal sin Lesiones o Heridas	1

Fuente: [Elaboración Propia con datos de Goodyear]

5.8.2.6 Factor impacto Ambiental (FIA)

Es el impacto que podría provocar, una falla o evento, a nivel ambiental (Amendola, 2006). Se utiliza una ponderación de rango 1 a 5 donde 5 es el máximo, esta ponderación se le asigna al factor tabulado más alto.

Tabla 14: Valoración de Factor Impacto en Seguridad

Factor Impacto Ambiental (FIA)	Valor
Daño Ambiental Severo, Irreversible (Fuera de las Instalaciones)	5
Daño Ambiental Reversible (Fuera de las Instalaciones)	4
Contaminación o Daño Ambiental Reversible (Dentro de las Instalaciones)	3
Contaminación o Daño Ambiental (Dentro del área del equipo)	2
Sin Contaminación o Daño Ambiental	1

Fuente: [Elaboración Propia con datos de Goodyear]

5.8.2.7 Factor impacto en la Producción (FIP)

Para comenzar hay que acotar a qué hace referencia el impacto en la producción; para este caso específico, se señala como la cantidad promedio de neumáticos que se dejan de fabricar al mes por falta de breaker por el costo asociado a un neumático construido. Este último dato es relativo al código del neumático y varía de acuerdo al tipo (pasajeros o carga), tamaño y a los materiales requeridos para la fabricación de cada uno de sus componentes. Dado esto, se trabajará con un costo promedio de los códigos en verde de neumáticos existentes, fijando cada uno en US 43,15 dólares/neumático.

Para el caso de la cantidad de neumáticos que se dejan de construir por mes, se realiza un cálculo haciendo una categorización entre las razones de detención de máquina steelastic que estén asociadas a una mantención correctiva y tomando en cuenta el tiempo promedio que demora la máquina constructora en elaborar un neumático en verde.

Cálculo entre el número de neumáticos no construidos por falta de breaker por mes, por el costo de neumático construido.

Tabla 15: Factor impacto en la Producción

Factor Impacto en la Producción (FIP)	Valor
Sobre US\$ 2401	5
Entre US \$1511 y \$2400	4
Entre US \$991 y \$1510	3
Entre US \$641 y \$990	2
Menor a US \$640	1

Fuente: [Elaboración Propia con datos de Goodyear]

5.8.3 Matriz de Criticidad por Factores

Los criterios utilizados en el análisis de criticidad (AC) generalmente se basan en una metodología que consiste en jerarquizar sistemas, instalaciones y equipos, la cual se realiza en función de su impacto global, con el fin de optimizar el proceso para la asignación de recursos.

Luego, para poder aplicar el análisis de criticidad (AC), hay que definir los alcances y propósitos de este, definir criterios de importancia y seleccionar una metodología de evaluación, para que de esta manera se puedan seleccionar las piezas que estarán bajo estudio [Amendola, 2006].

Para realizar la Matriz de Criticidad, se deben clasificar las piezas o partes según su grado de criticidad, el que está dado por:

- Criticidad Nula: Menor que 5
- Criticidad Baja: Entre 5 y 15, color verde.
- Criticidad Media: Entre 16 y 34, color amarillo.
- Criticidad Alta: Sobre 34, color rojo.

Matriz de Criticidad

Tabla 16: Matriz de Criticidad

Frecuencia	4	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92	96	100
	3	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60	63	66	69	72	75
	2	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50
	1	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
		Consecuencia																				

Fuente: [Elaboración Propia con datos de Goodyear]

A continuación, para determinar la matriz modeladora de riesgo, se establecen rangos de escalas tanto para la frecuencia con que se presenten los fallos, como para la clasificación en la severidad de las consecuencias [Amendola, 2006].

Para la obtención de la criticidad, la ecuación matemática de esta es:

$$\text{Criticidad} = \text{Frecuencia} * \text{Consecuencia}$$

Para lograr un valor cuantificable de la Consecuencia se debe saber que esta es:

$$\text{Consecuencia} = a + b.$$

Donde: $a = FIS + FIA + FCR$ y $b = FTD * FIP$

Por lo tanto: $\text{Consecuencia} = (FIS+FIA+FCR) + (FTD*FIP)$

El Análisis de Criticidad es una herramienta que permite establecer una jerarquización en componentes, equipos y sistemas en función de los impactos globales que generan, con la finalidad de facilitar la toma de decisiones, y de esta forma disminuir la ocurrencia de detenciones no programadas que afecten la continuidad de operación de un sistema o proceso [Amendola, 2006].

Luego de esto y para finalizar la estimación del grado de Criticidad de cada componente, sistema o máquina, se realiza la multiplicación entre la frecuencia de falla y el grado de consecuencia que genera cada una de las fallas más frecuentes en los componentes del subsistema de Mesa de Corte y Empalme.

5.8.4 Análisis de Criticidad para el subsistema Mesa de Corte y Empalme

La Mesa de corte y empalme, es un subsistema de la máquina Steelastic, el cual está compuesto por dos equipos, los que cumplen funciones diferentes de forma consecutiva.

El proceso inicia con la entrada de la banda de caucho unido a los hilos de acero, en una cinta transportadora, la que lleva el material al primer equipo el Cortador, este tiene un ángulo especificado para el corte del material y luego pasa al segundo equipo la Mesa de empalme, la que une el material.

Con el historial de fallas existente, se logra establecer un listado de las fallas más recurrentes que se presentan en la Mesa de corte y empalme, estos se muestran en la tabla N°17. Luego de establecer los criterios para la estandarización y orden de términos en las fallas, se puede calcular la criticidad para cada falla. Tabla con cálculo completo en Anexo 3.

Tabla 17: Resumen de Cálculo de Criticidad para Mesa de Corte y Empalme.

PARTE O PIEZA (FALLA)	CÁLCULO DE CRITICIDAD						CRITICIDAD	MATRIZ DE CRITICIDAD
	FRECUENCIA	FTD	FIP	FIA	FIS	FCR		
PORTA RAM	3	5	5	4	3	5	111	A
BOMBA DE VACIO	3	4	5	2	1	5	84	A
RAM	4	3	3	4	2	5	80	A
PORTACUCHILLO	2	5	5	4	4	5	76	A
TUBOS VACIO	4	2	2	3	2	5	56	A
CUCHILLO	3	3	2	3	5	3	51	A
CORREA DE EMPALME	2	3	3	4	2	4	44	A
SENSOR CUCHILLO	2	4	2	3	3	3	34	M
VARIADOR	1	5	5	2	1	5	33	M

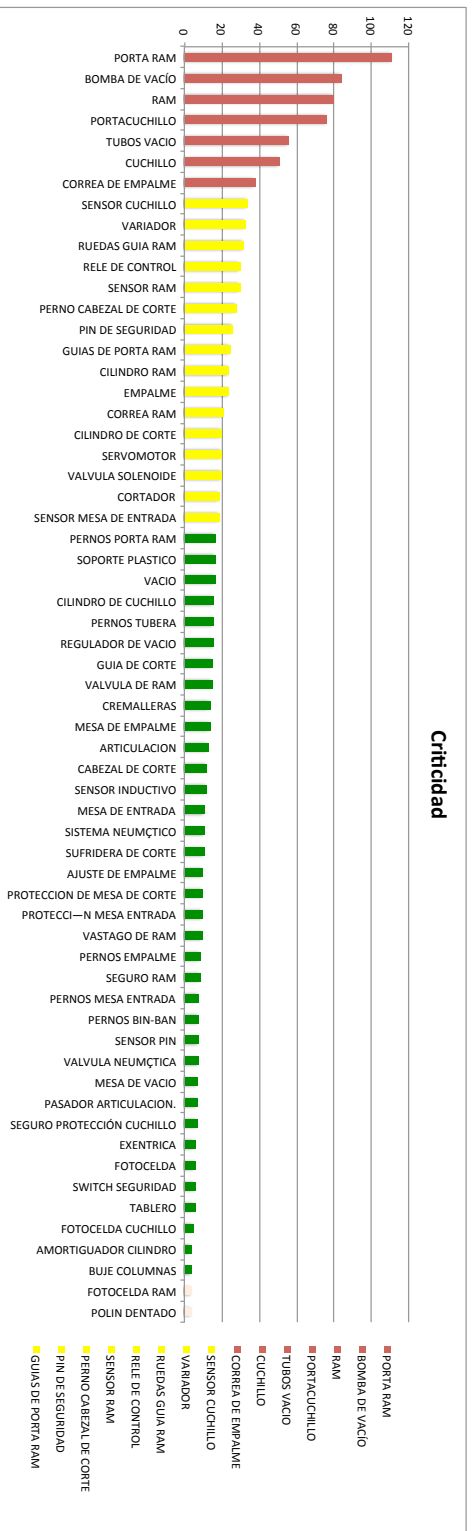
Fuente: [Elaboración Propia]

Luego de realizar el Cálculo de Criticidad para el proceso, se logra identificar las fallas más "Críticas" dentro del Proceso realizado por Mesa de corte y empalme, estas fallas son:

- Porta Ram
- Bomba de Vacío
- Ram
- Portacuchillo
- Tubos De Vacío
- Cuchillo
- Correa de Empalme

Si se grafican los datos obtenidos en un Gráfico de Barras, se puede visualizar de mejor forma, los diversos grados de criticidad y así corroborar la información que se obtuvo anteriormente.

Gráfico 6: Cálculo de Criticidad.



Fuente: [Elaboración propia]

Del gráfico anterior se puede observar con mayor claridad las 7 fallas con una criticidad alta, estas son las de color rojo, luego se muestran las de criticidad media graficadas en color amarillo, las de criticidad baja en color verde y finalmente en color crema las de criticidad nula.

Capítulo VI. Situación Propuesta

6.1 Desarrollo del método Análisis Modal de Fallos y Efectos (AMFE)

Tras realizar el análisis de criticidad se logró identificar 7 piezas de la Mesa de Corte y Empalme, las que serán utilizadas para realizar el Análisis Modal de Fallos y Efectos. A continuación se describen las etapas que se utilizan para la realización y así lograr conformar la tabla AMFE. (Reyes, 2001).

Nombre del Producto. En la primera columna, se registrar el nombre de la pieza o parte que se analizará.

Operación o Función. En la segunda columna, se describen todas las funciones que realiza dicha parte o pieza en estudio.

Modo de Fallo. Es todo desperfecto que se presente y que cause cualquier tipo de falla, desperfecto o defecto en el producto o parte que realizan, de acuerdo a las especificaciones de fábrica que se esperan de un sistema o pieza en particular.

Efectos del Fallo. En esta columna, se deben describir los síntomas del modo de fallo, los que harán referencia a las funciones que realiza cada parte o pieza.

Causas del Fallo. En esta columna se describen todas las causas potenciales de fallo, relacionadas con cada Modo de Fallo.

Controles Actuales. En esta columna se describen los controles actuales que se realizan a la parte o pieza en análisis.

Acción Correctiva. En esta columna se da una breve descripción de la acción correctiva que se realiza en estos momentos.

Definir Responsables. En esta columna se deben definir los responsables de las diferentes acciones correctoras implantadas.

Control Recomendado. Breve descripción de las recomendaciones a realizar para cada parte o pieza en relación al modo de falla y su posible causa.

Periodicidad de Mantenimiento y Recomendaciones. En esta columna, se deberá incluir recomendaciones sobre los intervalos de tiempo más recomendados para realizar estos procesos de intervención, así como también los procedimientos a seguir durante ellos. Estos datos serán obtenidos mediante el cálculo de un promedio de los fallos obtenidos en el histórico de falla del equipo, así como también de la experiencia y recomendaciones del equipo de trabajo del área de mantenimiento de la Viña.

Tras obtener los resultados del AMFE, se realiza el diseño del plan de mantenimiento preventivo con el objetivo de aumentar la disponibilidad de la máquina y disminuir las detenciones no programadas, de esta forma conseguir el aumento de disponibilidad de Breaker para la construcción final del neumático.

A continuación se muestran las tablas N°18 y 19 de AMFE, para las piezas Ram y porta cuchillo, respectivamente, en estas se pueden observar los modos potenciales de fallo, causas del fallo, responsable, control recomendado, entre otros, para cada una de estas piezas. Las tablas para las demás piezas críticas se encuentran en el anexo N°5.

Tabla 18: Análisis Modal de Fallos y Efectos para RAM.

Nombre del Producto	Función u Operación	Modo potencial de fallo	Efectos del fallo	Causa del Fallo	Acción Correctiva	Control Actual	Responsable	Control Recomendado	Periodicidad de Mantenimiento y Recomendaciones
RAM	SE ENCARGA DE ASPIRAR EL TROZO CORTADO DE BREAKER, LO TRASLADA Y LUEGO LO EMPALMA PARA CONSTRUIR EL CILINDRO DE ACERO.	QUIEBRE	NO TOMA BREAKER; PRODUCE ARRUGA EN EL MATERIAL	PRESIÓN DE LOS CILINDROS NEUMÁTICO DE PORTA RAM; CUMPLIO SU VIDA ÚTIL. ALTA VIBRACIÓN; CHOQUE CON CORTADOR; VELOCIDAD DE FUNCIONAMIENTO MÁS ALTA DE LAS ESPECIFICACIONES DE FABRICANTE	CAMBIO	REVISIÓN BIMESTRAL DE ESTADO DE RAM	MECÁNICO	REVISAR PRESIÓN DE LOS CILINDROS NEUMÁTICOS; LUBRICACIÓN DE BUJES DE CORTADOR	CADA 196 HORAS DE FUNCIONAMIENTO
		DESALUSTE	NO TOMA BREAKER; EMPALME DEFECTUOSO	ALTA VIBRACIÓN; CHOQUE CON CORTADOR; DESGASTE DE MATERIALES	AJUSTE DE CREMALLERAS, SENSOR RAM, CORREA Y REGLETILLAS; NIVELACION DE RAM	REVISIÓN ESTADO DE RAM BIMESTRAL	MECÁNICO	REVISIÓN CILINDRO DE ACCIONAMIENTO; REVISAR CREMALLERAS, SUECIÓN, EYES Y ENGRANAJES; REVISAR POLEAS DENTADAS MOTRIZ Y CONDUCTIDA, CORREA Y TENSOR DE CORREA; REVISAR TORNILLO REGULACIÓN DE VACIO; REVISAR ESTADO VALVULA RAM	CADA 198 HORAS DE FUNCIONAMIENTO
		FALLA ELÉCTRICA	RAM NO SE MUEVE; SE DETIENE RAM DESPUES DE UN CICLO;	CABLE DESCONECTADO, SENSOR FUERA DE POSICIÓN, DAÑO O FUNCIONAMIENTO INADECUADO	RESETEO DE MODULO; AJUSTE O CAMBIO DE SENSOR; CAMBIO DE SERVODRIVE; CAMBIO DE ENCODER	REVISIÓN MENSUAL DE: SISTEMA DE ACCIONAMIENTO, SISTEMA NEUMÁTICO, TABLERO DE OPERACIÓN Y TABLERO DE CONTROL	ELÉCTRICO	REALIZAR ASEO DE TABLERO; REORDENAMIENTO DE LINEAS; REAPRIETE DE LINEAS; RETIRAR POLVO INTERIOR DE DRIVE; VERIFICACIÓN DE FUNCIONAMIENTO DE VENTILADOR	CADA 281 HORAS DE FUNCIONAMIENTO

Fuente: [Elaboración Propia]

Tabla 19: Análisis Modal de Fallos y Efectos para PORTA CUCHILLO.

Nombre del Producto	Función u Operación	Modo potencial de fallo	Efectos del fallo	Causa del Fallo	Acción Correctiva	Control Actual	Responsable	Control Recomendado	Periodicidad de Mantenimiento y Recomendaciones
PORTA CUCHILLO	SE ENCARGA DE SOSTENER EL CUCHILLO Y LO MANTIENE EN LA POSICIÓN CORRECTA.	DESALUSTE	NO CORTA BREAKER	REPARACION DE CUCHILLO MUCHAS VEGES NO MANTIENE 9 MILIMETROS DE ESPESOR EN TODO EL CUCHILLO.- HILLO DE LAS BASES ESTEN RODADOS; LOS PERNOS MAL APRETADOS; DESGASTE BUJES GUIA DEL CORTADOR	SE CAMBIA CUCHILLO, SE CAMBIAN PERNOS NUEVOS, SE AJUSTA CUCHILLO Y SE REVISIA INTERFERENCIA	CALIBRACIÓN SEMESTRAL	MECÁNICO	MEJORAR FRECUENCIA DE MEDICION DE INTERFERENCIA Y CALIBRACIÓN	CADA 1624 HRS DE FUNCIONAMIENTO

Fuente: [Elaboración Propia]

6.2 Plan general de mantenimiento

Tras haber realizado un análisis de criticidad al histórico de fallos recopilado para el subsistema de Mesa de corte y empalme, este subsistema fue elegido tras realizar un análisis de Pareto a todos los subsistemas de la máquina Steelastic 2. Posterior al análisis de criticidad se realizó un Análisis Modal de Fallos y Efectos(AMFE). A partir de toda la información obtenida con los análisis realizados se consigue diseñar un plan de Mantenimiento preventivo para los componentes críticos del subsistema Mesa de corte y empalme, los que serán realizados en periodos de tiempo constante, en relación a las horas de funcionamiento de la máquina.

Este plan de mantenimiento fue desarrollado y diseñado con el asesoramiento del ingeniero de Mantenimiento de Goodyear Chile, para así tomar en cuentas todas las necesidades y requisitos de la empresa, el conocimiento específico de los componentes de Steelastic y conseguir un plan óptimo para el área.

Se requiere que todo el personal esté al tanto de las nuevas medidas de mantención para que se puede llevar acabo, mantener controlada la realización de dichas tareas y personal encargado de estas para lograr la disminución de detención no programadas provocados por fallas inesperadas.

6.2.1 Objetivos del Plan General de Mantenimiento

Diseñar un plan de mantenimiento preventivo basado en confiabilidad para máquinas de Steelastic de Goodyear de Chile S.A.I.C. que sea capaz de reducir los tiempos y costos de los mantenimientos correctivos, reduciendo los posibles fallos que se puedan presentar en los periodos de operación de la máquina Steelastic.

6.2.2 Plan de Mantenimiento Preventivo

Tabla 20: Plan de Mantenimiento Preventivo

Parte o Pieza	Actividad a Realizar	Responsable	Frecuencia
RAM	REVISAR PRESIÓN DE LOS CILINDROS NEUMÁTICOS; CONTROL DE VELOCIDAD DE FUNCIONAMIENTO QUE NO SOBREPASE LAS ESPECIFICACIONES DE FABRICANTE	MECÁNICO	CADA 196 HORAS DE FUNCIONAMIENTO
	REVISIÓN CILINDRO DE ACCIONAMIENTO; REVISAR CREMALLERAS, SUJECCIÓN, EJES Y ENGRANAJES; REVISAR POLEAS DENTADAS MOTRIZ Y CONDUCTIDA, CORREA Y TENSOR DE CORREA; REVISAR TORNILLO REGULACIÓN DE VACIO; REVISAR ESTADO VALVULA RAM	MECÁNICO	CADA 198 HORAS DE FUNCIONAMIENTO
	REALIZAR ASEO DE TABLERO; REORDENAMIENTO DE LINEAS; REAPRIETE DE LINEAS; RETIRAR POLVO INTERIOR DE DRIVE; VERIFICACIÓN DE FUNCIONAMIENTO DE VENTILADOR	ELÉCTRICO	CADA 281 HORAS DE FUNCIONAMIENTO
PORTA CUCHILLO	REALIZAR MEDICIONES DE INTERFERENCIA Y CALIBRACIÓN	MECÁNICO	CADA 1624 HORAS
PORTA RAM	INSPECCIÓN DE SENSORES DE POSICION	ELÉCTRICO	CADA 1018 HORAS DE FUNCIONAMIENTO
	REALIZAR ANÁLISIS DE VIBRACIONES DE LA MÁQUINA; LLEVAR UN CONTROL DE HORAS DE USO	MECÁNICO	CADA 879 HORAS DE FUNCIONAMIENTO
	REVISIÓN DE SENSORES Y CLABLES EN OPERACIÓN	ELÉCTRICO	CADA 6495 HORAS DE FUNCIONAMIENTO
CORREA DE EMPALME	REVISAR CONOS DE AJUSTES, EJE, RODAMIENTOS DE POLIN MOTRIZ Y CONDUCTIDO; REALIZAR LIMPIEZA DE POLIN	MECÁNICO	CADA 799 HORAS DE FUNCIONAMIENTO
CUCHILLO	LUBRICACIÓN DE BUJES; REVISAR SUJECCIÓN DEL CUCHILLO	MECÁNICO	CADA 2165 HORAS DE FUNCIONAMIENTO
	INSPECCIÓN VISUAL	ELÉCTRICO	CADA 2165 HORAS DE FUNCIONAMIENTO
	AJUSTE DE SENSOR	MECÁNICO	CADA 3248 HORAS DE FUNCIONAMIENTO
	REVISIÓN Y REAPRIETE DE LINEAS; AJUSTE O CAMBIO DE SENSOR	MECÁNICO	CADA 6495 HORAS DE FUNCIONAMIENTO
BOMBA DE VACIO	LLEVAR CONTROL DE HORAS DE USO CON ESPECIFICACIONES DE FABRICANTE (PREVENTIVO); REVISIÓN DEL SISTEMA DE VACIO	MECÁNICO	CADA 1299 HORAS DE FUNCIONAMIENTO
	REVISAR CONEXIÓN DE BOBINA Y CABLES QUE PUEDAN ESTAR EN MAL ESTADO	ELÉCTRICO	CADA 1096 HORAS DE FUNCIONAMIENTO
TUBOS VACIO	REVISIÓN DE PERNOS Y FIJACIONES; REVISIÓN DE POSICION DE TUBOS DE VACIO	MECÁNICO	CADA 1733 HORAS DE FUNCIONAMIENTO
	IMPLEMENTAR PLAN PARA REDUCIR ALTAS VIBRACIONES Y CHOQUE CON PORTACUCHILLO; CHEQUEO DEL ESTADO DE LOS TUBOS Y REALIZAR CAMBIO SI SE REQUIERE	MECÁNICO	CADA 196 HORAS DE FUNCIONAMIENTO

Fuente: [Elaboración Propia]

Las actividades de mantenimiento descritas en el Plan de Mantenimiento Preventivo, expuesto en la Tabla 20, deben ser realizadas sólo por personal capacitado y tomando en cuenta quien es el responsable de dicha actividad, también descrito en el Plan de Mantenimiento.

Para el cálculo de la frecuencia se utilizaron dos métodos, MTBF (Mean Time Between Failures o tiempo medio entre fallas) y Distribución de Weibull. Se comenzó utilizando Distribución de Weibull y para todas las muestras que no aplicaban a esta se realizó MTBF.

A continuación se muestran los cálculos realizados para la obtención de las frecuencias de las actividades de mantención.

6.2.2.1 Distribución de Weibull

Para el cálculo se utilizó la distribución de Weibull en un 50% de probabilidad de fallar en las piezas críticas. Se exponen las tablas N°20 y 21, las que fueron obtenidas con el programa Minitab, estas tablas muestran las horas entre fallas y la probabilidad de que esta falla ocurra en ese periodo de tiempo. Las tablas para las demás fallas se exponen en el anexo 4.

En la tabla N°21 se observa que a las 196 horas de funcionamiento hay una probabilidad de un 50% que esta falla vuelva ocurrir.

- Quiebre de RAM

Tabla 21: Porcentajes y probabilidades para Quiebre de RAM.

Percent	QUIEBRE RAM	Lower Bound	Upper Bound
1	0,719613	0,0621623	8,33049
2	1,81431	0,216023	15,2378
3	3,12517	0,448609	21,7711
4	4,60587	0,754689	28,1097
5	6,23237	1,13133	34,3335
6	7,98987	1,57671	40,4881
7	9,86846	2,08972	46,6027
8	11,8611	2,66966	52,6982
9	13,9628	3,31618	58,7902
10	16,1696	4,02917	64,8911
20	43,6866	14,8963	128,120
30	81,3063	33,1770	199,256
40	130,839	60,3250	283,779
50	196,019	98,6233	389,599
60	283,683	151,678	530,573
70	407,278	225,797	734,624
80	598,203	334,466	1069,91
90	961,294	519,714	1778,06

Fuente: [Elaboración Propia]

- Falla eléctrica de RAM

Tabla 22: Porcentajes y probabilidades para Falla eléctrica de RAM.

Percent	ELECT RAM	Lower Bound	Upper Bound
1	2,06429	0,175020	24,3474
2	4,64439	0,544775	39,5949
3	7,48186	1,06030	52,7945
4	10,5125	1,70309	64,8898
5	13,7049	2,46251	76,2730
6	17,0402	3,33162	87,1557
7	20,5065	4,30556	97,6685
8	24,0953	5,38079	107,900
9	27,8006	6,55466	117,912
10	31,6181	7,82521	127,754
20	75,5842	25,6739	222,520
30	130,313	53,0346	320,195
40	197,769	90,9730	429,938
50	281,904	141,451	561,820
60	389,823	207,642	731,845
70	535,285	295,128	970,866
80	749,866	415,926	1351,92

Fuente: [Elaboración Propia]

6.2.2.2 MTBF (Mean Time Between Failures o tiempo medio entre fallas)

Para el cálculo de las demás fallas se utilizó el MTBF, dado que las muestras no se ajustan al tipo de distribución de Weibull, dichos cálculos de muestran el tabla N°23.

Tabla 23: Cálculo de MTBF (Tiempo medio entre fallas)

Parte o pieza	Tipo de falla	Tiempo total de funcionamiento (min)	Nº de Fallas en el año	TF/CF (min)	TF/CF (Hr)
PORTACUCHILLO	DESAJUSTE	389.703	4	97.426	1.624
PORTA RAM	FALLA ELÉCTRICA	389.703	1	389.703	6.495
CHUCHILLO	DESAFILADO	389.703	3	129.901	2.165
CHUCHILLO	FALLA ELÉCTRICA	389.703	1	389.703	6.495
CHUCHILLO	PIERDE SECUENCIA	389.703	2	194.851	3.248
CHUCHILLO	QUIEBRE	389.703	3	129.901	2.165
BOMBA VACIO	ROTURA	389.703	5	77.941	1.299

Fuente: [Elaboración Propia]

Capítulo VII. Evaluación económica de la situación propuesta

7.1 Análisis económico

El área de steelastic cuenta con dos personas disponibles para atender las mantenciones preventivas y en ocasiones las correctivas, según la carga laboral. Ellos trabajan según un régimen de 45 horas semanales distribuidas de lunes a viernes con jornadas de 9 horas diarias de trabajo, percibiendo una renta bruta promedio de \$1.108.000 CLP, por lo que una hora de trabajo está calculada en \$5.745 CLP, lo que se muestra en la tabla N°24. Un estudio realizado por RRHH de Goodyear, las horas realmente productivas de un trabajador de mantenimiento son 8 horas al día, lo que se traduce en 40 horas productivas semanalmente; teniendo en cuenta que un año cuenta con 52 semanas, un trabajador tiene 2.080 horas productivas al año.

Tabla 24: Cálculo de valor mano de obra por hora

Puesto de Trabajo	Valor Mano de Obra Mensual	Valor Mano de Obra por Hora
Mecánico/Eléctrico Área Steelastic	\$1.108.000	\$5.745

Fuente: [Elaboración Propia]

Según el cálculo, para mantener el actual plan de mantenimiento para la Mesa de Corte y Empalme de 88 HH (horas hombre) al año, se necesita de 0,04 personas. Bajo la misma premisa, para mantener un nuevo plan de mantenimiento para la Mesa de Corte y Empalme de 312,5 HH al año, se necesitan 0,15 personas. Con estos datos, se afirma que la dotación no sufrirá modificaciones al agregar nuevas tareas de mantenimiento al plan de Mesa de Corte y Empalme, se siguen pagando los dos sueldos comprometidos.

Por otro lado, los costos por sobretiempo y externos (externos entiéndase empresas contratistas que prestan servicio de mantención) de mantenciones correctivas asciende a una cifra de \$7.275.544 CLP en el año. El costo de la mano de obra de atención correctiva tiene un costo de \$1.114.263 CLP, esto calculado del sueldo bruto y tomando en cuenta que la falla se atiende dentro de su horario laboral. El costo de los repuestos y reparaciones es de \$61.634.455 CLP en el año, en conjunto con la mano de obra suman \$62.748.718 CLP. En total, el costo por atender toda intervención correctiva perteneciente a los componentes más críticos de Steelastic#2 asciende a una suma de \$70.024.262 CLP al año, totalmente fuera del presupuesto de la empresa que estima utilizar \$132.000.000 para el área completa de Steelastic, es decir, \$22.000.000 CLP por máquina al año.

7.1.1 Situación Actual

Los costos asociados a Steelastic#2 durante el año 2014, se ven reflejados en la tabla N° 26 , donde se ven expresados los costos en repuestos y mano de obra mes a mes. En la tabla N°25, se resumen los costos del año 2014 en mano de obra, repuestos, reparaciones y sobretiempo y extras, el que asciende a las suma de \$70.024.262 CLP, cifra que excede en \$48.024.262 CLP el presupuesto, es decir, se excede en un 218,29%.

Tabla 25: Cálculo costos totales situación actual

COSTOS POR CONCEPTO DE MANO DE OBRA, REPUESTOS Y REPARACIONES (2014)	\$ 62.748.718
COSTOS POR CONCEPTO DE SOBRETIEMPO Y EXTERNOS (2014)	\$ 7.275.544
TOTAL	\$ 70.024.262

Fuente: [Elaboración Propia]

Tabla 26: Cálculo costos situación actual mensual

Mes	Repuestos	Mano de Obra	Total
1	\$ 9.750.665	\$ 111.552	\$ 9.862.217
2	\$ 3.462.777	\$ 78.690	\$ 3.541.467
3	\$ 13.937.903	\$ 298.596	\$ 14.236.499
4	\$ 4.955.615	\$ 93.091	\$ 5.048.706
5	\$ 3.230.345	\$ 49.907	\$ 3.280.252
6	\$ 6.102.686	\$ 73.040	\$ 6.175.726
7	\$ 5.762.514	\$ 158.184	\$ 5.920.698
8	\$ 3.225.078	\$ 34.414	\$ 3.259.492
9	\$ 6.739.654	\$ 135.169	\$ 6.874.823
10	\$ 2.709.394	\$ 73.921	\$ 2.783.315
11	\$ 1.757.824	\$ 7.699	\$ 1.765.523
12	\$ -	\$ -	\$ -
TOTALES	\$ 61.634.455	\$ 1.114.263	\$ 62.748.718

Fuente: [Elaboración Propia]

El área de producción también sufre un impacto cuando se presenta una falla, la máquina comienza a liberar producto irregular o simplemente se detiene y deja de producir, generando un costo en la producción. Actualmente se mantiene un plan de mantenimiento preventivo que solicita detener la máquina durante 78 horas al año, que se traduce en un costo de oportunidad de producción de \$ 43.324.952. Por intervenciones correctivas de Mesa de Corte y Empalme la máquina se detiene cerca de 6.700 minutos al año que deriva en un costo de oportunidad de producción de \$ 61.940.054. También existe el scrap, producto desperdicio ya que no puede ser reprocesado, la máquina lo libera cuando existe una falla en la máquina, siendo el 80% producto de fallas de la Mesa de Corte y Empalme; vale destacar que el costo por kilo de breaker scrap es de 2,6 USD, 0,4 USD más que el breaker productivo por concepto de tratamiento de desperdicios. El costo asociado a la

producción al año de scrap asciende a \$ 108.695.067, detallado mes a mes en la Tabla N°27.

Tabla 27: Cálculo costos asociados a scrap, situación actual

Mes	Scrap (kg)	Valor Scrap (CLP)
Enero	5.603	\$ 8.303.646
Febrero	5.738	\$ 8.503.222
Marzo	6.398	\$ 9.482.330
Abril	6.962	\$ 10.317.190
Mayo	5.820	\$ 8.624.746
Junio	6.005	\$ 8.899.904
Julio	6.758	\$ 10.015.850
Agosto	5.879	\$ 8.712.431
Septiembre	5.265	\$ 7.802.977
Octubre	6.407	\$ 9.494.433
Noviembre	6.152	\$ 9.116.770
Diciembre	6.357	\$ 9.421.568
TOTALES	73.344	\$ 108.695.067

Fuente: [Elaboración Propia]

Finalmente, los ingresos obtenidos por máquina en producción ascienden a \$ 2.255.468.347, cifra que se detalla en la Tabla N°28

Tabla 28: Ingresos por máquina disponible situación actual mensual

Mes	Producción Real (kg)	Valor Producción Real (CLP)
Enero	139.420	\$ 174.832.301
Febrero	121.545	\$ 152.416.845
Marzo	155.967	\$ 195.582.592
Abril	162.359	\$ 203.597.672
Mayo	171.280	\$ 214.785.057
Junio	165.711	\$ 207.801.860
Julio	174.013	\$ 218.212.679
Agosto	175.775	\$ 220.421.499
Septiembre	131.918	\$ 165.425.652
Octubre	167.027	\$ 209.451.694
Noviembre	152.877	\$ 191.708.017
Diciembre	80.728	\$ 101.232.480
TOTALES	1.798.619	\$ 2.255.468.347

Fuente: [Elaboración Propia]

Quedando la situación actual de la siguiente forma (véase tabla n°29)

Tabla 29: Ingresos versus costos, situación actual

INGRESOS POR PRODUCCIÓN ANUAL	\$ 2.255.468.347
COSTOS POR SCRAP ANUAL	\$ 108.695.067
COSTO OPORTUNIDAD DE PRODUCCIÓN POR MANTENCIÓN PREVENTIVA	\$ 43.324.952
COSTO OPORTUNIDAD DE PRODUCCIÓN POR MANTENCIÓN CORRECTIVA	\$ 61.940.054
TOTAL	\$ 2.041.508.274

Fuente: [Elaboración Propia]

7.1.2 Situación para propuesta N°1

Para la situación propuesta N°1, se considera un plan de mantenimiento preventivo, el que reduce un 50% la probabilidad de falla, lo que nos reduce al 50% los costos por reparaciones y repuestos asociados a estas fallas. En la tabla N°30 se resumen los costos anuales tomando en cuenta las mantenciones preventivas y su disminución en costos asociados a las reparaciones por fallos inesperados. En la tabla N°31 se resumen los costos mensualmente para mano de obra y repuestos. Con esta propuesta se excede el presupuesto anual en \$13.012.131 CLP, es decir, un 59,15% más de lo presupuestado, generando una reducción de \$35.012.131 pesos anuales.

Tabla 30: Cálculo costos totales situación propuesta N°1

COSTOS POR CONCEPTO DE MANO DE OBRA, REPUESTOS Y REPARACIONES (2014)	\$ 31.374.359
COSTOS POR CONCEPTO DE SOBRETIEMPO Y EXTERNOS (2014)	\$ 3.637.772
TOTAL	\$ 35.012.131

Fuente: [Elaboración Propia]

Tabla 31: Cálculo costos situación propuesta N°1

Mes	Repuestos	Mano de Obra	Total
1	\$ 4.875.333	\$ 55.776	\$ 4.931.109
2	\$ 1.731.389	\$ 39.345	\$ 1.770.734
3	\$ 6.968.951	\$ 149.298	\$ 7.118.250
4	\$ 2.477.808	\$ 46.546	\$ 2.524.353
5	\$ 1.615.173	\$ 24.953	\$ 1.640.126
6	\$ 3.051.343	\$ 36.520	\$ 3.087.863
7	\$ 2.881.257	\$ 79.092	\$ 2.960.349
8	\$ 1.612.539	\$ 17.207	\$ 1.629.746
9	\$ 3.369.827	\$ 67.584	\$ 3.437.411
10	\$ 1.354.697	\$ 36.961	\$ 1.391.657
11	\$ 878.912	\$ 3.849	\$ 882.761
12	\$ -	\$ -	\$ -
TOTALES	\$ 30.817.228	\$ 557.132	\$ 31.374.359

Fuente: [Elaboración Propia]

La propuesta N°1 también afecta positivamente la producción, se tiene un 50% más de disponibilidad para aprovechar la oportunidad de producción, reduce igualmente el scrap pero, aumenta considerablemente el costo de oportunidad de producción por detención de mantención preventiva. Aun así, existe un margen de \$ 5.791.685 al año.

Tabla 32: Ingresos por máquina disponible situación propuesta N°1

Mes	Scrap por fallas de Mesa de Corte y Empalme (kg)	Valor Scrap (CLP)
Enero	2.241	\$ 3.321.458
Febrero	2.295	\$ 3.401.289
Marzo	2.559	\$ 3.792.932
Abril	2.785	\$ 4.126.876
Mayo	2.328	\$ 3.449.898
Junio	2.402	\$ 3.559.962
Julio	2.703	\$ 4.006.340
Agosto	2.352	\$ 3.484.972
Septiembre	2.106	\$ 3.121.191
Octubre	2.563	\$ 3.797.773
Noviembre	2.461	\$ 3.646.708
Diciembre	2.543	\$ 3.768.627
TOTALES	29.337	\$ 43.478.027

Fuente: [Elaboración Propia]

Tabla 33: Ingresos por máquina disponible situación propuesta N°1

Mes	Producción Real (kg)	Valor Producción Real (CLP)
Enero	141.730	\$ 177.729.888
Febrero	123.583	\$ 154.972.832
Marzo	162.131	\$ 203.312.578
Abril	164.330	\$ 206.070.342
Mayo	172.576	\$ 216.410.669
Junio	167.322	\$ 209.821.840
Julio	177.476	\$ 222.554.432
Agosto	176.698	\$ 221.579.609
Septiembre	135.126	\$ 169.448.114
Octubre	168.590	\$ 211.411.500
Noviembre	153.026	\$ 191.894.092
Diciembre	80.728	\$ 101.232.480
TOTALES	1.823.316	\$ 2.286.438.374

Fuente: [Elaboración Propia]

Tabla 34: Ingresos versus costos, situación propuesta N°1

NUEVOS INGRESOS POR PRODUCCIÓN ANUAL	\$ 2.286.438.374
COSTOS POR SCRAP ANUAL	\$ 43.478.027
COSTO OPORTUNIDAD DE PRODUCCIÓN POR MANTENCIÓN PREVENTIVA	\$ 164.690.361
NUEVO COSTO OPORTUNIDAD DE PRODUCCIÓN POR MANTENCIÓN CORRECTIVA	\$ 30.970.027
TOTAL	\$ 2.047.299.959

Fuente: [Elaboración Propia]

7.1.3 Situación propuesta N°2

Para la situación propuesta N°2 se toma la propuesta N°1 agregando la instalación de un sensor de posicionamiento. Reduciendo un 50% las fallas inesperadas como en la propuesta N°1 y adicionalmente se reduce en un 58,52%. En la tabla N°35 se muestra el resumen de los costos durante un año con las reducciones de costos en el caso de implementar las medidas recomendadas. La tabla N°36 muestra el de talle mes a mes de los costos.

Tabla 35: Cálculo costos totales situación propuesta N°2

COSTOS POR CONCEPTO DE MANO DE OBRA, REPUESTOS Y REPARACIONES (2014)	\$ 10.884.856
COSTOS POR CONCEPTO DE SOBRETIEPO Y EXTERNOS (2014)	\$ 3.637.772
IMPLEMENTACIÓN SENSOR DE PROXIMIDAD	\$ 18.257
TOTAL	\$ 14.522.628

Fuente: [Elaboración Propia]

Tabla 36: Cálculo costos situación propuesta N°2

Mes	Repuestos	Mano de Obra	Total
1	\$ 480.772	\$ 30.976	\$ 511.748
2	\$ 835.241	\$ 34.117	\$ 869.358
3	\$ 4.290.940	\$ 105.424	\$ 4.396.364
4	\$ 306.027	\$ 38.043	\$ 344.070
5	\$ 736.260	\$ 21.123	\$ 757.384
6	\$ 1.293.519	\$ 15.455	\$ 1.308.973
7	\$ 52.608	\$ 20.300	\$ 72.908
8	\$ 733.627	\$ 14.813	\$ 748.440
9	\$ 1.325.444	\$ 45.121	\$ 1.370.565
10	\$ 475.785	\$ 29.262	\$ 505.047
11	\$ -	\$ -	\$ -
12	\$ -	\$ -	\$ -
TOTALES	\$ 10.530.223	\$ 354.633	\$ 10.884.856

Fuente: [Elaboración Propia]

Al igual que en la propuesta N°1, la propuesta N°2 impacta en la producción al aumentar la disponibilidad de la máquina, con la implementación del nuevo sensor, teniendo un margen de \$ 29.459.064 con respecto a la propuesta N°1.

Tabla 37: Ingresos por máquina disponible situación propuesta N°2

Mes	Scrap por fallas de Mesa de Corte y Empalme (kg)	Valor Scrap (CLP)
Enero	1.732	\$ 2.566.581
Febrero	1.773	\$ 2.628.269
Marzo	1.978	\$ 2.930.902
Abril	2.152	\$ 3.188.950
Mayo	1.799	\$ 2.665.831
Junio	1.856	\$ 2.750.879
Julio	2.089	\$ 3.095.808
Agosto	1.817	\$ 2.692.933
Septiembre	1.627	\$ 2.411.829
Octubre	1.980	\$ 2.934.643
Noviembre	1.901	\$ 2.817.911
Diciembre	1.965	\$ 2.912.121
TOTALES	22.670	\$ 33.596.657

Fuente: [Elaboración Propia]

Tabla 38: Ingresos por máquina disponible situación propuesta N°2

Mes	Producción Real (kg)	Valor Producción Real (CLP)
Enero	142.686	\$ 178.928.730
Febrero	123.784	\$ 155.225.561
Marzo	163.823	\$ 205.433.464
Abril	164.658	\$ 206.481.374
Mayo	172.724	\$ 216.595.818
Junio	168.134	\$ 210.840.161
Julio	179.742	\$ 225.396.475
Agosto	176.791	\$ 221.695.327
Septiembre	135.992	\$ 170.534.015
Octubre	168.886	\$ 211.783.650
Noviembre	153.174	\$ 192.080.167
Diciembre	80.728	\$ 101.232.480
TOTALES	1.831.122	\$ 2.296.227.221

Fuente: [Elaboración Propia]

Tabla 39: Ingresos versus costos, situación propuesta N°2

NUEVOS INGRESOS POR PRODUCCIÓN ANUAL	\$ 2.296.227.221
COSTOS POR SCRAP ANUAL	\$ 33.596.657
COSTO OPORTUNIDAD DE PRODUCCIÓN POR MANTENCIÓN PREVENTIVA	\$ 164.690.361
NUEVO COSTO OPORTUNIDAD DE PRODUCCIÓN POR MANTENCIÓN CORRECTIVA	\$ 21.181.180
TOTAL	\$ 2.076.759.023

Fuente: [Elaboración Propia]

Capítulo VIII. Plan de implementación

El plan de implementación que se propone es bastante breve y sencillo ya que no se necesita contratar personal extra para hacerlo viable, se sigue manteniendo la misma dotación que para mantener el plan antiguo.

Primero se van a incorporar todas las actividades recomendadas al plan maestro, estas deben tener su duración, dotación y horas hombre, es fundamental para realizar una planificación adecuada de las actividades versus los recursos. Con esta nueva incorporación el Programmer deberá planificar en conjunto con el Planner la nueva calendarización del mes tomando en cuenta la frecuencia de las actividades, se debe programar también en el programa diario para que los ownerships y los supervisores puedan preparar todos los recursos necesarios para llevar a cabo todas las actividades programadas.

Luego de un mes se recomienda hacer un balance de todos los recursos utilizados para mantener el plan de mantención recomendado y comparar con el plan antiguo.

Capítulo IX. Conclusiones y recomendaciones

9.1 Alternativas para evitar choque de PORTARAM con CORTADOR

Como se ha descrito en el Capítulo V en relación a la composición de la máquina steelastic, esta se compone de un conjunto de subsistemas mecánicos y eléctricos cuya operación está determinada por la configuración de un dispositivo de control conocido como PLC (*Programmable Logic Controller* en inglés), de amplio uso en la industria manufacturera. Este dispositivo es el responsable de controlar los tiempos en que operan los distintos elementos mecánicos dentro de un cierto subsistema y la secuencia de operación de cada subsistema que compone la máquina. Si bien están disponibles en el mercado diversos tipos de PLC que varían según capacidad y lenguaje de programación, la máquina steelastic utiliza un PLC proveído por la empresa Allen-Bradley. Específicamente, corresponde a un PLC SLC 500 capaz de controlar en forma estable la máquina (ver Figura 29).

Figura 20: PLC SLC 500, Allen-Bradley



Fuente: [Elaboración propia]

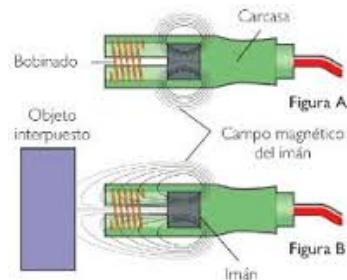
Como todo sistema electromecánico complejo no está exento de fallas que impidan el normal funcionamiento de uno de sus subsistemas. Específicamente en steelastic se ha detectado una falla recurrente que ha gatillado un gran número de intervenciones correctivas, el choque del PORTARAM con el CORTADOR. Esta se genera a partir de un problema en el sistema neumático y/o por falta de lubricación en los bujes del cortador, causando que el cuchillo superior no regrese a su posición original. Al reanudarse el movimiento del PORTARAM, este choca con el CUCHILLO, pudiendo causar desajustes en el PORTARAM, además del quiebre de la RAM y la disminución de la vida útil del CUCHILLO, por consiguiente, obliga a cambiar la pieza antes de lo estimado, incurriendo en tiempos perdidos por reparación y altos costos en repuestos.

Dado el impacto productivo y económico que trae la generación y ocurrencia de la falla antes mencionada, se presenta una alternativa con la cual se pretende evitar el choque de estos sistemas en caso de que las fallas de raíz se detonen. Esta consiste en la instalación de un dispositivo eléctrico o electromecánico que identifique la posición del cuchillo lo suficientemente arriba para que el PORTARAM no lo choque. Para estos efectos, este debe ser capaz de enviar una señal al PLC de la máquina para que este último, mediante la generación de una corriente eléctrica, desencadene el movimiento del PORTARAM sólo si el CORTADOR SUPERIOR está en la posición que se requiere. Según esto, se proponen alternativas las cuales se describen a continuación:

- **Sensor Inductivo de Proximidad**

Sirven para detectar un objeto metálico. Se utilizan para verificar que una parte de la máquina se encuentra en una posición determinada. Dado que este tipo de sensor no requiere que exista contacto con un objeto determinado para su detección, se evita la generación de desgaste mecánico.

Cuando un objeto metálico se sitúa dentro de su campo de detección, se enciende una luz LED piloto que da cuenta de la activación del sensor. De acuerdo a la lógica de programación configurada en el equipo, la activación/desactivación del sensor genera una señal que se envía directamente al PLC que la interpreta como una instrucción para activar/desactivar un determinado componente electromecánico. Las respuestas enviadas por este tipo de sensores son rápidas y de intensidad de corriente muy baja. Es necesario intercalar un elemento de potencia que amplifique esta señal.

Figura 21: Funcionamiento Sensor Inductivo de Proximidad

Fuente: [<https://www.sick.com/es/es/product-portfolio/proximity-sensors/inductive-proximity-sensors/c/g190731>]

Figura 22: Muestra de sensor Inductivo de Proximidad

Fuente: [<http://hetpro-store.com/TUTORIALES/sensor-inductivo>]

Antes de elegir un sensor para una instalación nueva o una reparación en un equipo determinado, deben considerarse las siguientes características:

- Forma (cilíndrico, rectangular)
- Dimensiones
- Alcance de detección
- Instalación en metal (enrasado, aquel en que el cuerpo metálico se prolonga hasta la cabeza sensora evitando la posible dispersión del flujo electromagnético, o no enrasado, el recubrimiento metálico exterior no llega hasta el borde de la cabeza sensora, así el flujo se dispersa por los laterales de la cabeza sensora)
- Frecuencia de conmutación (Directamente asociada a la distancia y periodo de detección del objeto metálico que va de 10 Hz en los no enrasados hasta los 1000 Hz en los enrasados)
- Tipo de salida (NPN de salida negativa y PNP de salida positivo, la diferencia está en el diseño de su circuito interno y el tipo de transmisor utilizado; NC, contacto cerrado, y NO, contacto abierto, viene dado por su condición normal)
- Conexión (cable o conector, número de hilos)

- Protección (si existen condiciones ambientales especiales)
- Tensión de alimentación
- Consumo de corriente
- Corriente máxima de salida

En relación a las fallas en el funcionamiento de este tipo de sensores, estas están enfocadas principalmente en su ruptura causada por golpes u otras causas físicas. Sin embargo, es importante mencionar otras tales como la pérdida de la posición correcta del sensor y el daño de los cables de conexión al PLC generadas a partir del movimiento y/o vibración de la máquina.

Tabla 40: Ventajas/Desventajas de Sensor Inductivo de Proximidad.

Ventajas:	Desventajas:
No entran en contacto directo con el objeto a detectar.	Sólo detectan la presencia de objetos metálicos.
No se desgastan.	Pueden verse afectados por campos electromagnéticos intensos.
Tienen un tiempo de reacción muy reducido.	El margen de operación es más corto en comparación con otros sensores.
Tiempo de vida largo e independiente del número de detecciones.	No se puede realizar mantención, si no funciona se debe cambiar.
Son insensibles al polvo y a la humedad.	
Incluyen indicadores LED de estado y tienen una estructura modular.	
Es un dispositivo económico.	

Fuente: [Elaboración Propia]

De acuerdo a las ventajas y desventajas presentadas en la tabla N° 24, la instalación de un sensor de estas características en la máquina steelastic es posible ya que es un dispositivo económico, tiene alta durabilidad, es muy preciso, no sufre desgaste por detección, el alcance de detección es lo suficiente para el uso que se requiere, su ubicación está apartada de otras instalaciones que podrían afectar su campo electromagnético y a pesar de la alta vibración de la máquina, si bien algún cable puede desconectarse, el sensor no sufre averías por ello, siendo bastante fácil de revisar y verificar que los cables estén en buen funcionamiento. Cabe destacar que se encuentran instalados otros sensores

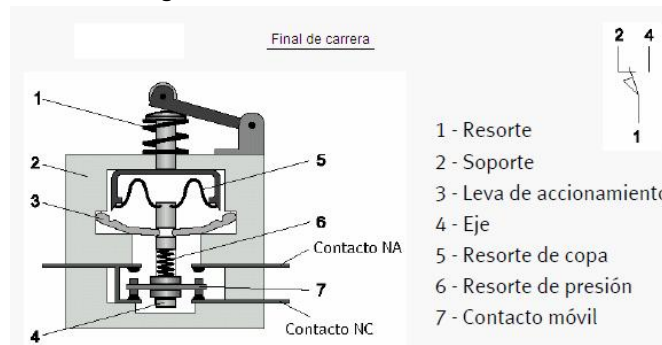
de este tipo en el resto de la máquina, como en el Aplicador de Huincha y en Windup, por lo que hay existencia en bodega.

- Interruptores de Final de Carrera

Los interruptores de final de carrera son dispositivos electromecánicos que constan de un accionador vinculado mecánicamente a un conjunto de contactos. A diferencia de los sensores inductivos y/o capacitivos, este dispositivo entra en funcionamiento cuando un objeto tiene contacto físico con el accionador, que puede ser algún tipo de brazo, palanca, pomo o émbolo. Esto tiene por objetivo enviar señales que puedan modificar el estado de un circuito, abriendo o cerrando una conexión eléctrica.

Generalmente, los limitadores de fin de carrera están compuestos por dos partes: un cuerpo donde se encuentran los contactos y una cabeza que detecta el movimiento. Esta modularidad facilita en gran medida el mantenimiento gracias a la posibilidad de cambiar cualquier elemento con comodidad.

Figura 23: Piezas Limit Switch



Fuente: [<https://temariosformativosprofesionales.wordpress.com/category/monograficos/page/3/>]

Figura 24: Modelo Limit Switch



Fuente: [<http://allegro.pl/prostownicze-mostki-67520>]

Estos dispositivos están fabricados en diferentes materiales tales como metal, plástico o fibra de vidrio, suelen trabajar en máquinas con movimiento rectilíneo de ida y vuelta o que sigan una trayectoria fija, en otras palabras, aquellas que realicen una carrera o recorrido fijo, y se utilizan en distintas aplicaciones y ambientes debido a su resistencia, operación visible simple, fácil instalación y funcionamiento confiable.

Los principales factores que determinan la elección de un interruptor de fin de carrera son:

- Protección contra los golpes y salpicaduras.
- Condiciones ambientales: humedad, polvo, corrosión, temperatura.
- El espacio disponible para instalar, fijar y ajustar el aparato.
- Las condiciones de uso: frecuencia de las maniobras, naturaleza, masa y velocidad del móvil que se controla, exigencias de precisión y fidelidad, esfuerzo necesario para accionar el contacto.
- Número de ciclos de maniobra.
- El número y el tipo de los contactos: ruptura lenta o brusca, posibilidad de ajuste, la naturaleza de la corriente, el valor de la tensión y de la corriente que se deben controlar.

Tabla 41: Ventajas/Desventajas de Interruptores de Final de Carrera

Ventajas	Desventajas
No es un problema en el cambio de altas corrientes.	Debe hacerse físico el contacto con el objeto que se desea detectar, por lo que, en general se deben hacer adaptaciones para lograr este contacto.
Alta precisión, exactitud, y repetibilidad.	El componente mecánico puede tener inconvenientes en la detección. Puede trabarse.
Como un componente mecánico lleva a cabo la detección se logra un funcionamiento sencillo.	
Es una solución económica y variada.	
Dependiendo del modelo, puede soportar más de un entorno.	
Es de fácil mantenimiento.	

Fuente: [Elaboración Propia]

De acuerdo a las ventajas y desventajas presentadas en la tabla 25, la instalación de un sensor de estas características en la máquina steelastic es posible por ser un dispositivo económico y de fácil adaptación, altamente preciso, su funcionamiento es bastante sencillo por lo que también realizar ajustes y mantención es rápido, a pesar de esas ventajas el hecho de que su durabilidad se vea afectada por el número de detecciones es una desventaja frente al sensor inductivo.

- Sensores fotoeléctricos

Los sensores fotoeléctricos son dispositivos electrónicos que pueden abrir o cerrar un circuito eléctrico al detectar la presencia o la ausencia de un objeto por la acción de un haz de luz y un elemento fotosensible.

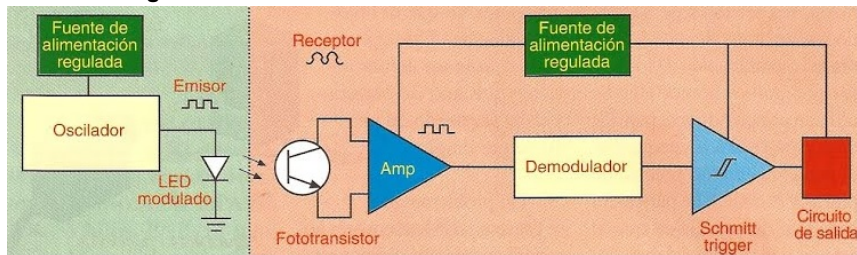
Un sensor fotoeléctrico está constituido por tres partes: un emisor, un detector y un circuito electrónico. El emisor utiliza uno o varios LEDs para producir un haz de luz modulada roja o infrarroja que viaja hacia el receptor a través del espacio, por fibra óptica u otro medio.

Figura 25: Modelo Sensor Fotoeléctrico



Fuente: [<http://www.directindustry.es/fabricante-industrial/sensor-proximidad-fotoelectrico-149466.html>]

Figura 26: Funcionamiento Sensor Fotoeléctrico



Fuente: [<https://sites.google.com/site/654sensoresindustriales/detectores-de-proximidad-fotoelectricos>]

Se emplean LEDs infrarrojos y luz modulada para garantizar:

- Que el sistema no se vea afectado por otras formas de luz ambientales.
- Alto rendimiento luminoso.
- Alta velocidad de respuesta.
- Insensibilidad a choques y vibraciones.
- Una vida útil prácticamente ilimitada.
- Simplificar el proceso de alineamiento.

El detector utiliza como elemento fotosensible un fotodiodo o un fototransistor para detectar el haz de luz enviado por el LED del transmisor y de esta forma producir una señal eléctrica equivalente de bajo nivel que indica la presencia o ausencia del objeto.

Dependiendo del método de detección, son posibles seis tipos de sensores fotoeléctricos:

- De barrera.
- Retroreflectivos.
- Difusos.
- Convergentes.
- Especulares.
- Detectores de marcas de color.

El tipo de sensor a emplear en un sistema dependerá de la distancia de detección, la intensidad de la señal óptica, las restricciones de montaje y las características del objeto a ser detectado. Es importante tomar en cuenta si los objetos son opacos, translúcidos o claros, si son alta o ligeramente reflectivos y si se presentan siempre en la misma ubicación o se presentan aleatoriamente a medida que pasan por el sensor.

El uso del sensor fotoeléctrico está orientado a satisfacer aplicaciones que se encuentran en muchas industrias, tales como manejo de materiales, empaquetado, procesamiento de alimentos y transporte.

Tabla 42: Ventajas/Desventajas de Sensores fotoeléctricos

Ventajas	Desventajas
Se encuentran sensores de especialidad (sensores de color, sensores de luminiscencia, sensores de contraste, supresión de frente y fondo).	Las propiedades de los objetos pueden perjudicar la detección, como el brillo y la rugosidad de los materiales
Rangos de sensado de hasta 100 mts.	Es más costoso.
Diversos tipos de carcasas tubulares y de bloque.	
Para aplicaciones especiales que requieran un conector o cable no estándar, es posible personalizar las conexiones del sensor.	
No se calientan.	
Detección muy precisa.	
Elevado margen para ambientes contaminados.	

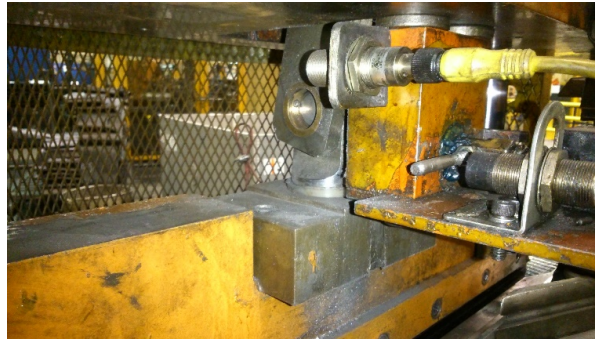
Fuente: [Elaboración Propia]

De acuerdo a las ventajas y desventajas presentadas en la Tabla 26, la instalación de un sensor de estas características en la máquina steelastic es posible por ser un dispositivo altamente preciso y adaptable, sin embargo, se descarta su implementación por ser bastante más costoso y no se justifica un sistema tan complejo para algo tan sencillo.

Después de considerar todas las ventajas y desventajas expuestas de cada alternativa de sensor, se decide implementar un sensor inductivo enrasado. Se cuenta con recursos en bodega, el ownership eléctrico del área ya está familiarizado con este tipo de dispositivos por lo que la implementación no requiere mayor mano de obra y el tiempo perdido por intervención es menor comparado con el tiempo perdido por la detonación de la falla.

Inicialmente se realiza montaje del soporte del sensor, es necesario instalar una placa que sostenga el sensor y que este a una altura y distancia adecuada para el alcance del sensor, luego se realiza la instalación del sensor. En seguida se realiza el cableado desde la salida del sensor hasta el tablero de control y luego hasta el PLC, se ubica un input disponible y se conecta ahí. Con eso termina la instalación física del sensor.

Figura 27: Cuchillo abajo, sensor no detecta el metal por tanto su señal es de NO OK.



Fuente: [Elaboración Propia]

Figura 28: Cuchillo arriba en posición correcta, por tanto, sensor envía señal de OK.



Fuente: [Elaboración Propia]

Figura 29: Instalación del cable del sensor al PLC.



Fuente: [Elaboración Propia]

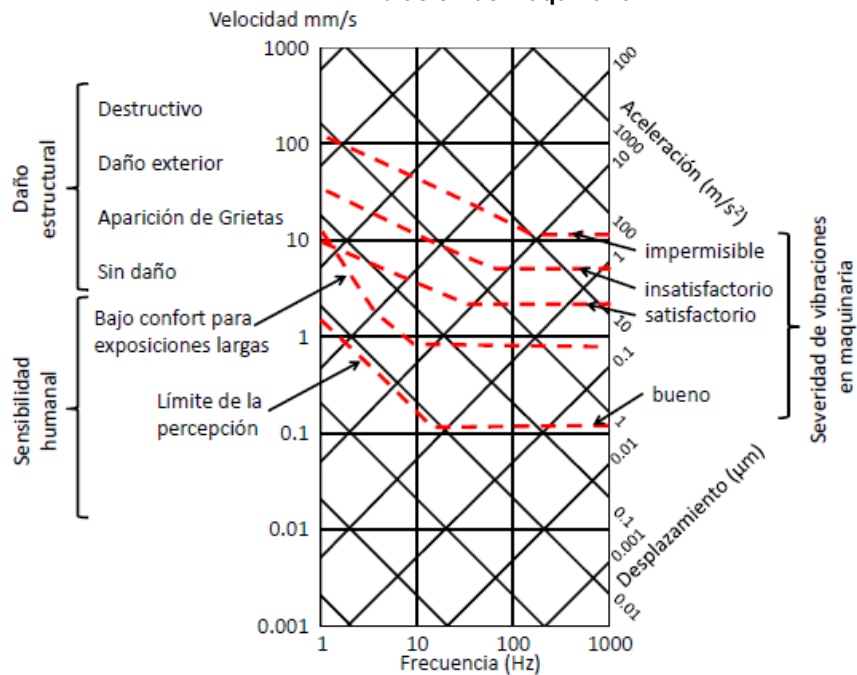
Posteriormente se procede a realizar la programación del sensor, dentro del software se adiciona un nuevo hardware, en este caso el sensor, se intercala bit en serie para condicionar entrada del RAM a tomar breaker. Se programa de tal manera que, si el cuchillo no ha subido a su posición correcta, la señal del sensor inductivo instalado no está OK, y por lo tanto no sigue la siguiente secuencia de entrada del RAM.

9.2 Cómo combatir la alta vibración de la máquina Steelastic

Una de las partes que compone un neumático es el breaker, cinturón de acero que se produce en la máquina *steelastic*. Para que el *breaker* cumpla con sus principales funciones, dar rigidez y resistencia al neumático y evitar cortes o perforaciones, en la etapa de construcción del neumático el *breaker* debe posicionarse con los alambres de acero en dirección oblicua, por ello, la máquina *steelastic* tiene un cortador con cuchillos especiales que cortan un trozo de breaker en ángulos que van desde 24 a 26 grados y luego se empalman.

En el proceso de corte del *breaker*, se generan elevados niveles de ruido y vibraciones que son habitualmente intrínsecos al funcionamiento de la propia máquina. Estos elevados niveles tienen efectos negativos. Por un lado, el operario de la máquina sufre una elevada exposición, que tiene consecuencias como el aumento de la fatiga y por lo tanto la reducción de la seguridad laboral o puede ser la causa de enfermedades profesionales que obliguen a reducir las horas de uso al día del equipo (y por lo tanto la productividad del mismo). Y, por otra parte, impacta directamente a la vida útil de los componentes y piezas del subsistema al provocar daños como soldaduras, quiebres o desajustes. Por estas razones se hace necesario realizar un análisis de vibración, y con resultados e información concluyentes, buscar un dispositivo anti vibratorio que sea capaz de soportar y disminuir los niveles emitidos por el proceso de corte de *breaker* además de atender alguna potencial falla del subsistema.

Figura 30: Niveles de vibración permisible (RMS) para daño estructural, percepción humana y vibración de maquinaria.



Fuente: [Curso de Vibraciones Mecánicas, Universidad de Chile]

Los análisis de vibraciones son ampliamente utilizados en mantención predictiva, los realizan empresas especializadas en ese rubro, con amplia trayectoria y experiencia, ya que se necesitan recursos de alto valor económico como equipos certificados y personal experto en el área.

Generalmente para realizar un análisis de vibraciones se utiliza un equipo llamado Microlog, existen en variados modelos y se diferencian en su capacidad de medición, de recolección de datos, tipo de pantalla, cantidad de idiomas, accesorios y software. La empresa SKF, conocida a nivel mundial por sus productos, servicios y soluciones para la industria, dispone de estos equipos, se encuentran a la venta a través de distribuidores con certificación de SKF en Chile. Vía telefónica y dependiendo del equipo a considerar, se indica que los precios fluctúan entre los diez millones y doce millones de pesos chilenos más IVA, por lo que es importante tener claro si la inversión se puede recuperar a corto o mediano plazo (Goodyear debe considerar todos los equipos a los que requieren realizar análisis de vibración).

Existe también la opción de trabajar con una empresa externa que realice estos estudios en vez de comprar y mantener estos recursos indefinidamente.

La empresa Mayekawa Chile S.A.C.E.I. ubicada en Cordillera 331, Módulo D14 Flexcenter, Quilicura, Santiago, Chile, se dedica a prestar servicios de Mantención y Análisis Termográficos y de Vibración entre otros. A través de su representante, Srta. Francia Palma, se realiza una cotización para el servicio de Análisis de Vibración que consta en, primero, revisar el equipo en cuestión y realizar una previa selección de los equipos necesarios que requiere la empresa para realizar dichas mediciones, luego, luego se realiza un análisis de datos y se presenta posteriormente un informe con diagnósticos y recomendaciones, adicionalmente, si el equipo analizado presenta anomalías que a juicio del Analista ponen en riesgo su continuidad, esta será inmediatamente comunicada al personal a cargo, para que estos tomen las acciones correctivas correspondientes. Para realizar todo esto se requiere de 1 día hábil para completar los servicios de monitoreo correspondientes a Análisis de Vibraciones, dependiendo de la condición del equipo a inspeccionar. Consecuentemente, se requiere de 1 día hábil para análisis y elaboración del informe correspondiente. Este servicio tiene un costo aproximado de ciento treinta mil pesos chilenos más IVA por máquina.

Por lo expuesto en el párrafo anterior no es posible financiar un análisis de vibración de forma particular. Pero se puede proporcionar la información necesaria para definir una alternativa para la reducción de vibraciones.

Reducción de Vibraciones

Las diversas técnicas de reducción de vibraciones pueden ser caracterizadas dinámicamente, considerando una excitación $f(t)$ aplicada a un sistema (S), cuya respuesta es "y". Si el objetivo es reducir "y" a un nivel aceptable, existen las siguientes alternativas para ello:

- Aislamiento, para suprimir o reducir las excitaciones $f(t)$.
- Control, para absorber o disipar vibraciones usando dispositivos externos.

• **Aislamiento**

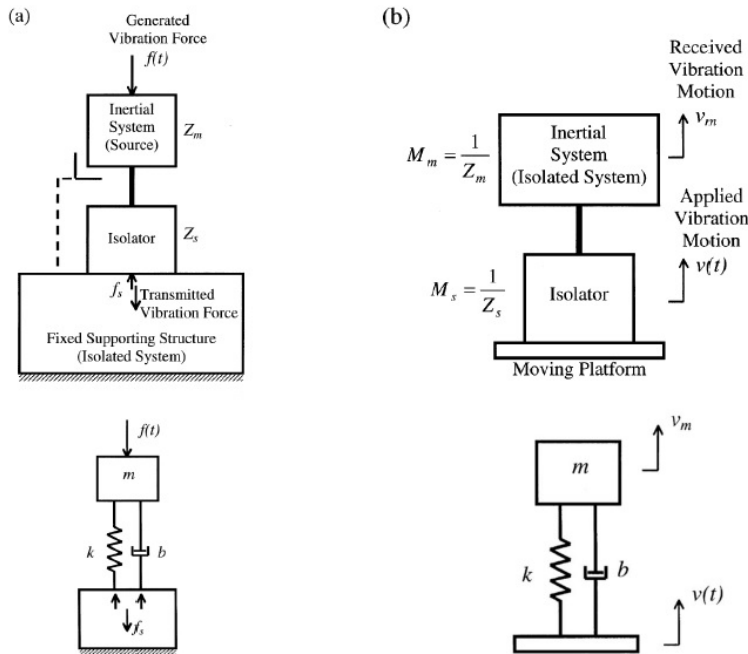
Se conoce como aislamiento de vibraciones a todo aquel procedimiento que permite reducir los efectos indeseables asociados a toda vibración. Básicamente, ello suele suponer la introducción de un elemento elástico (aislante) entre la masa vibrante y la fuente de vibración, de forma que se consigue reducir la magnitud de la respuesta dinámica del sistema, bajo unas determinadas condiciones de la excitación en vibración.

Algunos ejemplos de aisladores son fundaciones de máquinas y sistemas de suspensión de vehículos. Se puede identificar dos tipos de aislamiento, el aislamiento de fuerzas y el aislamiento de movimientos. Para ambos casos se define el concepto de transmisibilidad:

$$T_f = \frac{f_s}{f} = \frac{Z_s}{Z_m + Z_s} \quad T_m = \frac{v_m}{v} = \frac{M_m}{M_m + M_s} = \frac{Z_s}{Z_s + Z_m} \quad f(\omega) = Z(\omega)v(\omega)$$

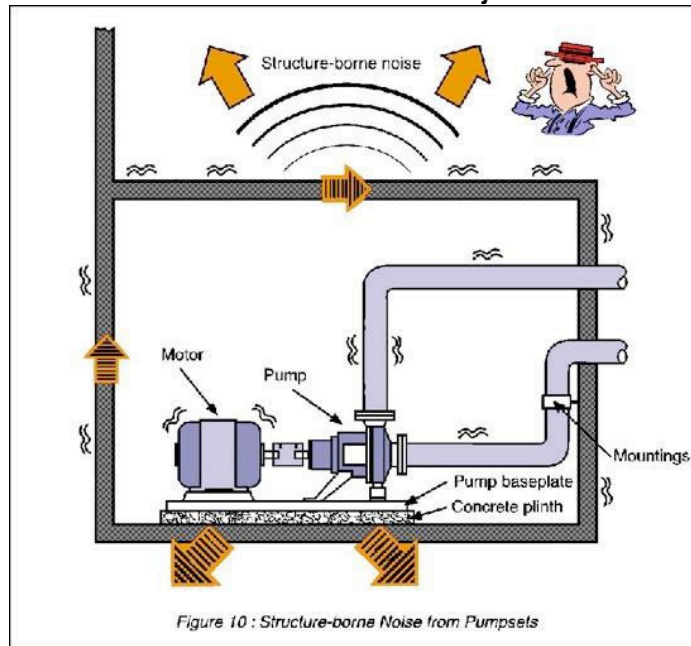
m: máquina
s: aislador
Z: impedancia mecánica

Figura 31: Modelos de estructuras con aislamiento.



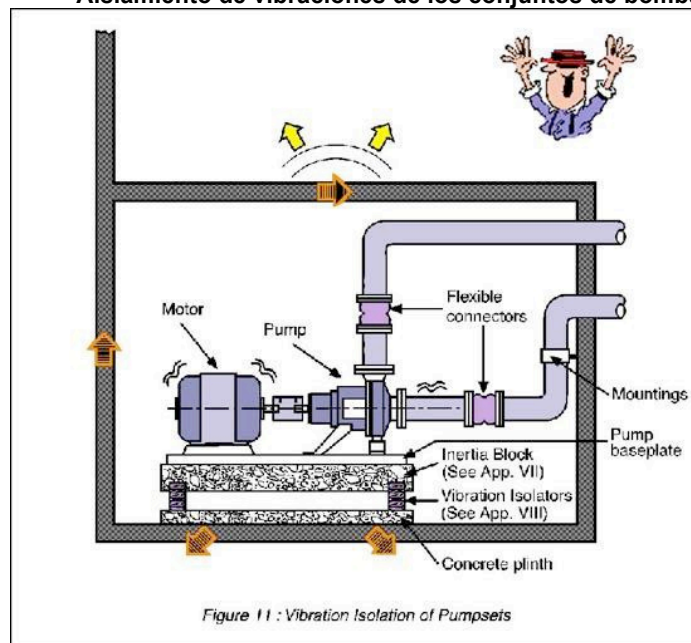
Fuente: [Curso de Vibraciones Mecánicas Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Nacional de Ingeniería, Perú]

Figura 32: Ruido de la estructura de los conjuntos de bombas.



Fuente: [Curso de Vibraciones Mecánicas, Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Nacional de Ingeniería, Perú.]

Figura 33: Aislamiento de vibraciones de los conjuntos de bombas.



Fuente: [Curso de Vibraciones Mecánicas, Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Nacional de Ingeniería, Perú]

- **Control**

El control de vibraciones tiene dos categorías, activo o pasivo, dependiendo de si se precisa una fuente externa de potencia o no para que lleve a cabo su función.

Un control pasivo está formado por un elemento elástico (que incorpora una rigidez) y un elemento disipador de energía (que aporta un amortiguamiento). Dos ejemplos comunes son: el absorbedor de vibraciones y los amortiguadores.

Un absorbedor consiste en un segundo sistema masa-resorte que se añade al componente principal para evitar que vibre. El mayor objetivo de incorporar este segundo sistema masa-resorte es cambiar el sistema de un grado de libertad a un sistema de dos grados de libertad, quedando con dos frecuencias naturales. Los parámetros del absorbedor (masa y rigidez) se definen para que el movimiento del componente original este en un mínimo, acompañándolo de un movimiento sustancial del sistema absorbedor.

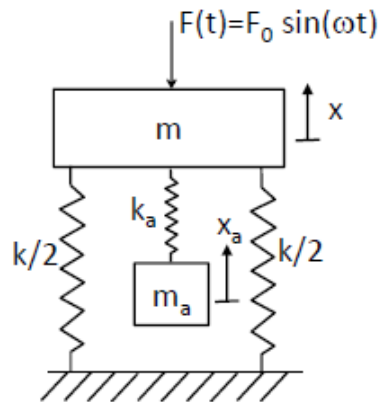
Los absorbedores son requeridos especialmente para máquinas que funcionan a una constante velocidad, como por ejemplo compresores, lijadoras, cortadoras eléctricas, entre otras.

Cuando se añade un absorbedor simple a un sistema masa-resorte, la ecuación de movimiento del sistema queda así,

$$\begin{bmatrix} m & 0 \\ 0 & m_a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{x}_a \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} k + k_a & -k_a \\ -k_a & k_a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ x_a \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_0 \sin \omega t \\ 0 \end{bmatrix}$$

Donde x es el desplazamiento de la masa principal de masa m y rigidez k , x_a es el desplazamiento del absorbedor de masa m_a y rigidez k_a y $F(t) = F_0 \sin \omega t$ es la excitación armónica aplicada sobre la masa principal. El objetivo es diseñar el absorbedor idóneo para que el desplazamiento de la masa principal sea el menor posible para el caso estacionario.

Figura 34: Sistema Masa-resorte con un absorbedor dinámico de vibraciones.



Fuente: [Curso de Vibraciones Mecánicas, Universidad de Chile]

La efectividad de un absorbedor de vibraciones depende de varios factores. En primer lugar, se debe conocer la excitación armónica y no debe variar mucho de su valor constante, ya que, de ser así, el absorbedor ya no estará sintonizado y la masa principal va a experimentar alguna

oscilación. También existe la probabilidad de que la frecuencia de excitación varíe y tome el valor de alguna de las dos frecuencias naturales del sistema. Por otro lado, el sistema puede entrar en resonancia y potencialmente fallaría. En último caso, un factor importante en el diseño es que el resorte de rigidez k_a debe ser capaz de soportar la fuerza completa de la excitación, por lo tanto, debe ser capaz de realizar las deflecciones correspondientes.

Un control activo de vibración está formado por un servomecanismo que incluye un sensor, un procesador de señal y un actuador. El control mantiene constante una distancia entre la masa vibrante y un plano de referencia. Cuando la fuerza aplicada al sistema varía esa distancia, el sensor lo detecta y genera una señal proporcional a la magnitud de la excitación (o de la respuesta) del sistema. Esta señal llega al procesador que envía una orden al actuador para que desarrolle un movimiento o fuerza proporcional a dicha señal.

Bibliografía

- Amendola, L.J., (2006). *Gestión de proyectos de activos industriales*, Valencia, España: Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia.
- Amstadter, B. (1976). *Matemáticas de la Fiabilidad: Fundamentos, prácticas, procedimientos*, Barcelona, España: Editorial Reverté S.A.
- Cuatrecasas A., L. y Torrell M., F., (2010). *TPM en un entorno Lean Management: Estrategia competitiva*, Barcelona, España: Profit Editorial.
- Daza H., G., (2007). *Apuntes del Curso Vibraciones Mecánicas para la carrera de Ingeniería de Ejecución en Mecánica de procesos y Mantenimiento Industrial*, Universidad Técnica Federico Santa María, Concepción, Chile.
- Díaz M., R. (2012). *Tesis, Propuesta de un Plan de Mantenimiento Preventivo Basado en Confiabilidad, para la Máquina Monobloque de Llenado SYNCHROFILL MBF de la Línea 1 de Envasado de la Viña Errázuriz, Planta Panquehue*, Escuela de Ingeniería Civil Industrial, Facultad de Ingeniería, Universidad de Valparaíso, Santiago, Chile.
- Fibertel, J., (2007). *RCM – Mantenimiento Centrado en Confiabilidad*. Recuperado de <http://www.gestiopolis.com/rcm-mantenimiento-centrado-en-confiabilidad/>
- García G., S., (2003). *Organización y Gestión Integral de Mantenimiento*, Madrid, España: Editorial Diaz de Santos.
- García G., S., (2009). *Ingeniería de Mantenimiento: Manual práctico para la gestión eficaz del mantenimiento industrial*. Recuperado de <http://www.renovetec.com/373-ingenieria-de-mantenimiento>
- García G., S., (2009). *Tipos de Mantenimiento*. Recuperado de <http://www.mantenimientopetroquimica.com/index.php/2-tipos-de-mantenimiento>
- Moubray, J. (2004) *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad*, versión en español, Leicestershire, United Kingdom: Biddles Ltd.
- García, S. (2003). *Organización y Gestión Integral de Mantenimiento*, Madrid: Díaz de Santos, S.A.
- Pascual, R. (2002) *Gestión Moderna del Mantenimiento*, Santiago, Chile
- GEO Tutoriales (2015). *Gestión de Operaciones: Tasa de Falla y Tiempo Medio entre Fallas (MTBF)*. Recuperado de <http://www.gestiondeoperaciones.net/mantenimiento/tasa-de-falla-y-tiempo-medio-entre-fallas-mtbf/>
- Lyonnet, P., (1989). *Los Métodos de la Calidad Total*, Madrid, España: Editorial Diaz de Santos.
- Meruane, V. *Curso de Vibraciones Mecánicas*, Departamento de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Santiago, Chile.
- Mobley, R.K., (2002). *An introduction to predictive maintenance*, 2nd Edition, Massachusetts, United States of America: Elsevier Science
- Molina S., A. *Teoría de Vibraciones*, Escuela de Ingeniería Mecánica, Departamento de Tecnología y Diseño, Universidad de los Andes, Merida, Venezuela.
- Moubray, J., (2004). *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad*, Madrid, España: Aladon LLC.
- O'Connor, P., (2002) *Practical Reliability Engineering*, 4th Edition, Chichester, United Kingdom: John Wiley and Sons Ltd.
- Olofsson, O., (2011). *Tiempo Medio Entre Fallas y Tiempo Medio Para Reparar*. Recuperado de <http://world-class-manufacturing.com/es/KPI/mtbf.html>
- Pistarelli, A.J., (2010). *Manual de Mantenimiento: Ingeniería, gestión y organización*, Buenos Aires, Argentina: Talleres Gráficos R y C.

- Rudnick, H. *El Mantenimiento como Fuente de Rentabilidad*. Recuperado de <http://hrudnick.sitios.ing.uc.cl/alumno06/OED/mantenimiento.htm>
- Serway, R. A. (1992). *Física*. Ed. Mc Graw Hill.
- Banco Central de Chile, *Dólar observado año 2014*, Base de Datos Estadísticos. Recuperado de http://si3.bcentral.cl/Indicadorosiete/secure/Serie.aspx?gcode=PRE_TCO¶m=RABmAFYAWQB3AGYAaQBuaEkALQAzADUAbgBNAGgAaAAkADUAVwBQAC4AbQBYADAARwBOAGUAYwBjACMAQQBaAHAARgBhAGcAUABTAGUAdwA1ADQAMQA0AE0AawBLAF8AdQBDACQASABzAG0AXwA2AHQAawBvAFcAZwBKAEwAegBzAF8AbgBMAHIAYgBDAC4ARQA3AFUAVwB4AFIAWQBhAEEAOABkAHkAZwAxAEERAA%3d
- <http://www.industrialtijuana.com/>
- ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS (A. M. F. E.) www.fundibeq.org
- (Reyes 2001) AMFE

Anexos

Anexo 1: Descripción del proceso productivo del Neumático

Introducción

El neumático es esencialmente un elemento que permite a un vehículo desplazarse en forma suave a través de superficies lisas; es una pieza fabricada con un compuesto basado en el caucho que se coloca en las ruedas de diversos vehículos y máquinas para conferirle adherencia, estabilidad y confort. Constituye el único punto de contacto del vehículo con el suelo y, por tanto, del neumático depende una buena medida el comportamiento dinámico del vehículo, es decir, cómo se mueve el vehículo sobre el terreno. Depende del neumático que las ruedas puedan realizar sus funciones de tracción, dirección amortiguación de golpes, estabilidad y soporte de la carga, pero para que eso sea posible, el estado del neumático debe ser correcto, sin cortes, grietas o deformaciones, y su presión de inflado debe ser la adecuada. Una de las características básicas del neumático es la elasticidad, que es la responsable de que el neumático pueda soportar los enormes esfuerzos que le exige la conducción diaria. También la durabilidad, que garantice que el neumático será capaz de realizar sus funciones durante una dilatada vida útil. Además, su agarre debe ser correcto sobre seco y sobre mojado.

Composición del Neumático

En la actualidad, la mayoría de los neumáticos de vehículos de pasajeros como los de camión son radiales, por lo que están compuestos de una banda de rodamiento elástica, una cintura prácticamente inextensible y una estructura de arcos radialmente orientada, sobre una membrana inflada y sobre unos aros también inextensibles que sirven de enganche a otro elemento rígido, que es la llanta. También existe otro tipo de neumáticos llamados diagonales, utilizados principalmente en camiones.

Para lograr las características mencionadas en el neumático, se utilizan las siguientes materias Primas:

❖ Materiales de fabricación

- El caucho natural: Es de origen vegetal, se extrae a partir del árbol Hevea Brasiliensis que es un látex con partículas de caucho en suspensión, es un material resistente al calor, principalmente usado en la elaboración de costados por ser estos los que más se calientan.
- El caucho sintético: Este es resistente a la fabricación o desgaste y se usa principalmente en la banda de rodamiento del caucho debido a su continuo contacto con el pavimento.
- Fibras reforzantes: Textiles y de acero, usualmente en forma de hilos, que aportan resistencia a los neumáticos: algodón, nylon y poliéster. La cantidad de acero y fibras sintéticas reforzantes en los neumáticos varía según el fabricante.

❖ Sustancias químicas:

- Pigmentos: Utilizados para dar color a la goma. El principal es el negro de humo, relleno reforzante, que además proporciona consistencia, dureza y resistencia a la tracción, a la torsión y al desgaste.
- Plastificantes: Aceites minerales (aromáticos, nafténicos y parafínicos) que se adicionan para facilitar la preparación y elaboración de las mezclas, utilizándose para el control de la viscosidad y para permitir la incorporación del negro de humo y los demás materiales. Suavizan la goma, reducen la fricción interna durante el procesado y mejoran la flexibilidad a bajas temperaturas del producto.
- Antioxidantes: Estas sustancias protegen a la goma de los efectos corrosivos del medio.
- Ceras: Dan textura a los cauchos, sirven también como antioxidantes.
- Resinas: Aumentan la adherencia entre los distintos componentes del caucho al momento de la construcción.
- Retardadores/Aceleradores: En retardadores se ocupa el N-nitroso difenilamina y en aceleradores, compuestos órgano - sulfurados, benzotiazol y derivados, óxido de zinc y ácido esteárico; sirven para mediar el tiempo de vulcanización y obtener las propiedades físicas requeridas.
- Azufre: Es el principal agente vulcanizante, se usa para entrecruzar las cadenas de polímero en el caucho.

En forma general el neumático está compuesto por los siguientes componentes:

Tabla 43: Composición de un Neumático según tipo de Vehículo.

Componentes	Tipo de Vehículo		Función
	Automóviles % en Peso	Camiones % en Peso	
Cauchos	48	45	Estructura/ Deformación
Negro Humo	22	22	Mejora Oxidación
Óxido de Zinc	1,2	2,1	Catalizador
Material Textil	5	0	Esqueleto Estructural
Acero	15	25	Esqueleto Estructural
Azúfre	1	1	Vulcanización
Otros	12	0	Duración

Fuente: [Dpto. de Ingeniería mecánica, Universidad de Buenos Aires]

Los componentes como el Caucho natural, Caucho sintético, Resinas, Aceleradores, Retardadores, Tela de poliéster, Tela de nylon, Pigmentos, Pinturas se importan de diferentes partes del mundo como Indonesia, Malasia, Brasil, Estados Unidos, Colombia, Argentina, Europa y Asia.

Partes del Neumático

El neumático es el resultado del ensamblado de diferentes partes provenientes de distintos procesos con sus respectivos componentes. Cada parte del neumático tiene un tratamiento diferente dependiendo de su funcionalidad. A continuación, se presentan cada una de estas partes con su respectiva función.



Fuente: [Goodyear Chile]

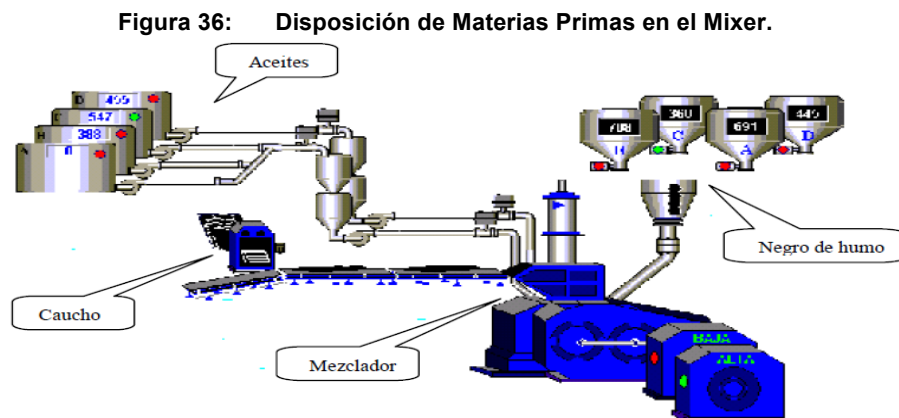
- N°1: Banda de Rodamiento
- N°2: Lateral
- N°3: Revestimiento
- N°4: Acero
- N°5: Tela
- N°6: Cojín
- N°7: Pestaña

1. **Banda de Rodamiento:** Proporciona tracción, frenado, dirigibilidad, capacidad de dispersión de agua y conducción satisfactoria.
2. **Lateral:** Amortigua parcialmente los impactos sufridos por la banda de rodamiento y protege el cojín lateralmente contra impactos y fricciones.

3. **Revestimiento:** Complementa el trabajo de los cinturones de acero minimizando el efecto de deformación del neumático causado por las altas velocidades, garantizando un pleno contacto de la banda de rodamiento con el suelo.
4. **Acero:** Estabiliza la configuración y forma del neumático, permitiendo mejor contacto del mismo con el piso. También protege el cojín contra impactos, cortes y perforaciones.
5. **Tela:** Estructura de refuerzo que soporta el aire a presión contenido en el neumático, y los esfuerzos derivados de la tracción y la dirección.
6. **Cojín:** Estructura interior del neumático, es la cámara incorporada en el neumático.
7. **Pestaña:** Asegura el neumático en la llanta, evitando su deslizamiento.

Proceso de Fabricación del Neumático

El proceso de elaboración de un neumático en la planta Goodyear de Chile, inicia con la preparación de los materiales, primero el laboratorio revisa las materias primas y las aprueba según corresponda, luego quedan a disposición para ser utilizadas, de ahí pasan a la preparación de las mezclas primarias, las cuales se producen en el área de preparatoria, Banbury, parte de la División "A", en donde se realiza el mezclado de los compuestos de caucho, negro de humo, aceite y algunos pigmentos dependiendo del compuesto que se desea elaborar, esta operación se realiza bajo un intenso calor y presión. El negro de humo esta acumulado en silos, y mediante una bomba de vacío se pesa y se va dejando caer en el caucho, enseguida se aplica aceite dosificado cuya finalidad es lubricar y además disminuye la potencia empleada en el mezclador.



Fuente: [Goodyear Chile]

Las mezclas primarias se vuelven a introducir en el Mixer conjuntamente con el azufre (que es el material vulcanizante), los acelerantes y retardantes. El procedimiento es muy similar al anterior, aquí se obtienen las mezclas finales.

Figura 37: Plataformas con láminas de goma.



Fuente: [Goodyear Chile]

El laboratorio tiene la tarea de controlar la calidad de los cauchos que se producen en el Banbury, realiza algunas pruebas de plasticidad, adhesión y vulcanización y rechaza o aprueba los compuestos que salen de los mezcladores. A cada plataforma de compuesto se le adhiere una tarjeta del laboratorio con su aprobación o rechazo.

Las mezclas finales se almacenan en plataformas para ser utilizadas en distintas máquinas pertenecientes también a la División "A", estas son las calandras, extrusoras y cortadoras, que conforman el área de "Preparación de Perfil Laminar", dando como producto cada una de las partes del neumático, gomas y telas y aceros calandrados con goma, resistentes y disponibles para su utilización.

Luego, en la División "B", las máquinas constructoras se programan y realizan el proceso de ensamblado de las partes del neumático, dando origen al neumático en verde de características plásticas y de baja resistencia a la deformación. A continuación, estos neumáticos en verde pasan al proceso de vulcanización, sector donde se disponen trincheras con prensas, dentro de estas prensas se les aplica temperatura y presión, proporcionándole al neumático en verde características elásticas, entregando un neumático como producto con un valor agregado.

En seguida, los neumáticos tratados en prensas, deben ser sometidos a variadas inspecciones y controles de calidad antes de su comercialización, con el fin de asegurar la satisfacción del cliente y las personas.

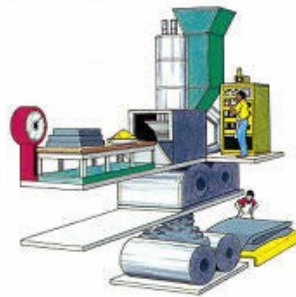
A continuación se describe con mayor detalle cada una de las etapas de preparatoria, construcción y vulcanización.

❖ Mezclador:

Como ya se había mencionado, la mezcla básica de goma para fabricar un neumático se hace en el Banbury, donde se realizan inicialmente las mezclas primarias en los Mixers 2 o 5, se hace la mezcla a cámara cerrada de caucho natural, sintético o ambos, con negro de humo, aceite y pigmentos, en diferentes proporciones según sea el compuesto que se quiere elaborar, a una temperatura que bordea entre los 150C° y 170C° y presión entre

500KPa y 600KPa. El resultado es una mezcla primaria más conocida en la fábrica como “no productivo”. Estos “no productivos” se introducen a los Mixers 1 o 3 conjuntamente con el azufre (que es el material vulcanizante), los acelerantes y retardantes, también en las proporciones que se requieran para determinadas características del caucho, por ello el compuesto se remolnea ablandando el caucho y dándole mayor homogeneidad, para esta mezcla el Banbury trabaja a una temperatura entre los 90C° a 110C° y mantiene la presión entre los 500KPa y 600KPa, entregando como producto final de Banbury las mezclas finales, listas para ser revisadas en el laboratorio para su posterior aprobación.

Figura 38: Etapa de Mezclado.



Fuente: [Goodyear Chile]

❖ Extrusora:

La extrusora es la parte básica para la elaboración de cada una de las partes del neumático, el compuesto entra a la extrusora por molinos, luego ya dentro y a una temperatura determinada, el compuesto se revuelve y ablanda dentro de una tubera, en esta tubera gira un tornillo que expulsa el compuesto a presión, y dependiendo de la parte del neumático que se esté elaborando, el compuesto toma una forma determinada por plantillas o se adhiere a otro material.

Existen dos extrusoras grandes, cuádruplex y hexaplex, en la cuádruplex se elaboran los laterales del neumático; en la hexaplex, se elabora la banda de rodamiento, ambas tienen grandes tuberías y largas correas transportadoras. A la salida de la tubera, el perfil de goma es marcado con un código numérico a fin de identificarlo en etapas posteriores. Después de enfriarse, la goma extruida es cortada, medida y cementada, para poder almacenarse en carros “libro” con tela (la tela es para que no se pegue la goma), que son dispuestos para su uso en la parte de construcción.

Figura 39: Etapa de Extrusión.



Fuente: [Goodyear Chile]

❖ **Construcción de Pestañas:**

En esta etapa se elabora una parte del neumático con forma de aro, la pestaña, formada por alambres de acero de alta tensión cubiertos de caucho. Aquí trabajan las máquinas llamadas conformadoras de pestaña.

Los alambres de acero recubiertos de goma pueden ser conformados en forma plana o hexagonal, según sea el tipo de neumático para el que está destinado. Son enrollados al diámetro adecuado y recubiertos de tela. Su función principal es anclar el neumático a la llanta.

Figura 40: Etapa de Construcción de Pestañas.

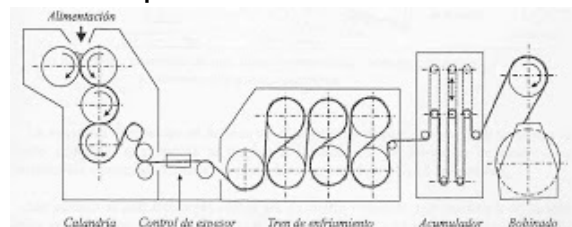


Fuente: [Goodyear Chile]

❖ **Calandras:**

Las calandras son máquinas conformadas por una serie de rodillos de presión que se utilizan para formar una hoja lisa y plana de material. Aquí se elabora la capa de tela que lleva el neumático y el cojín. La extrusora alimenta directamente a la calandra con caucho, pasa por diferentes rodillos cilíndricos que reducen el espesor del material. El espesor está dado por la distancia existente entre los rodillos.

Figura 41: Esquema básico de una línea de calandrado.



Fuente: [Industria Papelera]

El calandrado consta de cuatro etapas, alimentación, cilindros de calandrado, cilindros de calibración y enfriamiento y por último corte y bobinado.

En Goodyear existen dos calandras, Calandra Gum, que es la que se ocupa de elaborar el cojín del neumático, y la Calandra Z, donde se realiza el calandrado de tela, conformando la capa de tela engomada que lleva el neumático.

❖ Steelastic

Alambre Calandrado. Esta máquina tiene una función similar a la calandra textil, es decir, recubre de goma a las hebras de acero con el fin de mejorar la adherencia con el resto de los componentes y brindar mayor protección al acero contra corrosión.

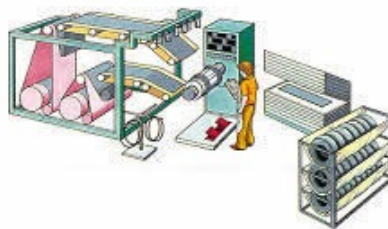
❖ Cortadoras

En esta etapa se cortan las telas calandradas, dándoles una inclinación apropiada a las telas que conformaran la carcasa del neumático.

❖ Construcción

En esta etapa es donde se unen todos los componentes que conforman el neumático, desde adentro hacia afuera. Comienza con la capa de goma que conforma la parte del cojín, que asegura la retención de aire al interior del neumático. A continuación, se colocan las capas de tela que conformarán la carcasa. Dos aros llamados "ápex", que son las pestañas con un agregado de goma, rellenan el área que queda entre la pestaña y las otras capas, luego se añaden los laterales. Por otra parte, se forma un armazón con el cinturón de acero calandrado, que resiste pinchaduras y sostiene fuertemente a la banda de rodamiento contra el piso, y una capa de revestimiento si el modelo del neumático lo requiere. La banda de rodamiento es la última parte del neumático. Los componentes se integran en una máquina de construcción de neumáticos, llamada HF, donde unos rodillos automáticos presionan todas las partes firmemente. El resultado es lo que se denomina un "neumático verde", que tiene la apariencia de un producto casi acabado, listo para inspección y vulcanización.

Figura 42: Etapa de Construcción del Neumático en Verde.



Fuente: [Goodyear Chile]

❖ Vulcanización

En el proceso de vulcanizado, el caucho pasa de ser un material termoplástico a ser uno elastomérico debido al entrelazamiento de cadenas de polímeros con moléculas de azufre a alta presión y temperatura. El neumático en verde es vulcanizado con moldes de alta temperatura, también se aplica alta presión para lograr la adhesión del neumático en verde al molde, esto se realiza en una prensa de curado, comprime todas sus partes y le

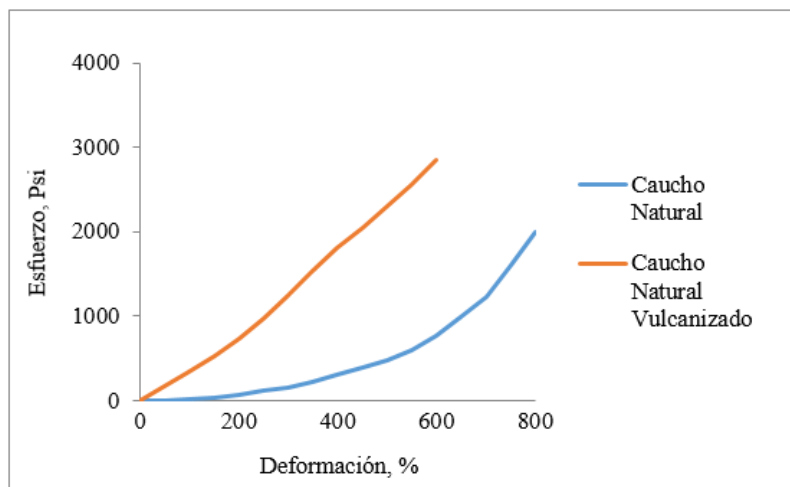
confiere su forma final, incluido el patrón de la banda de rodadura y las marcas del fabricante en el flanco junto con las características del neumático requeridas por ley.

Figura 43: Etapa de Vulcanización de Neumático en Verde.



Fuente: [Goodyear Chile]

Gráfico 7: Esfuerzo v/s Deformación del Caucho Natural y Natural Vulcanizado.



Fuente: [Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de Buenos Aires]

❖ Inspección

Antes de que un neumático pueda considerarse apto para su comercialización, debe superar una cuidadosa inspección visual por parte de inspectores calificados, para ello, se eliminan las rebabas y se realiza el pulido, el pulido deja al descubierto los laterales blancos. La idea es eliminar todo defecto que pueda provocar problemas en servicio.

Los neumáticos también son sometidos a exámenes en máquinas diseñadas para detectar la más mínima imperfección, se hacen exámenes de forzado donde el neumático se carga con fuerzas variables con el fin de visualizar el comportamiento en contacto con la planta de rodaje. Posteriormente, el neumático es balaceado, aquí se determina puntos de menor peso en el neumático, para así agregarle pequeñas masas de modo de compensar y proporcionarle una distribución homogénea de la masa.

Figura 44: Etapa de Inspección del Neumático.



Fuente: [Goodyear Chile]

❖ Rayos X

Con el fin de seleccionar los neumáticos en estado “OK”, la última fase consta de una clasificación de neumáticos que deben ser inspeccionados en rayos X, deben ser mínimo 200 neumáticos diarios; al construirse, cada neumático tiene un código de acuerdo al modelo, la idea es que pasen al menos 5 neumáticos de 10 códigos diferentes, para ello también se toma en cuenta la cantidad de moldes que se encuentran en prensa por cada código.

En rayos X se revisa la colocación del breaker (se ve si existen cuerpos extraños) y las pestañas (que el empalme no se suelte ni pase al lateral). Los principales defectos que se pueden encontrar son el centrado del breaker, si quedó zigzagueante, más ancho, más angosto, empalme fuera de centro, empalme abierto y alambres del breaker agrupados o sueltos.

Luego se envía el neumático terminado hacia bodega o hacia patio de desperdicio o “waste”, según sean sus condiciones.

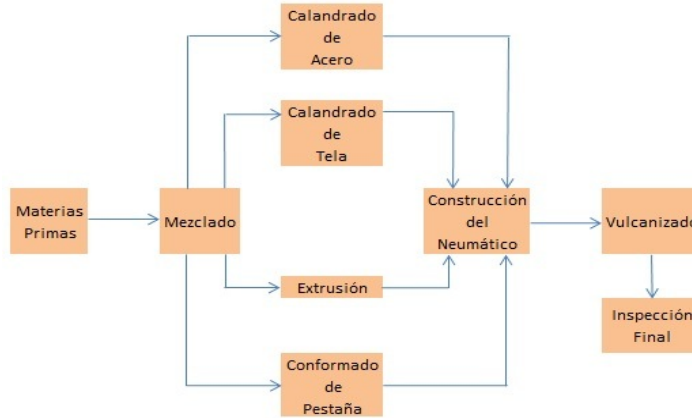
Además, los técnicos de control de calidad seleccionan aleatoriamente neumáticos de la cadena de fabricación y los cortan por la mitad para examinar cuidadosamente cada detalle de su construcción y asegurarse de que cumplen los estándares de Goodyear. Si algo no se encuentra dentro de las especificaciones preestablecidas el neumático es rechazado.

Figura 45: Etapa de Rayos X



Fuente: [Goodyear Chile]

Figura 46: Diagrama de Fabricación de Neumáticos.



Fuente: [Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de Buenos Aires]

Anexo 2: Historial de fallos

COMPONENTE	FECHA	TIEMPO CONCILIADO
ARTICULACION	03-01-14	60
EXENTRICA	07-01-14	15
RAM	07-01-14	20
TUBOS VACÍO	07-01-14	15
SISTEMA NEUMÁTICO	09-01-14	60
VARIADOR	09-01-14	220
CILINDRO DE CUCHILLO	10-01-14	59
RAM	10-01-14	35
SEGURO PROTECCIÓN CUCHILLO	10-01-14	29
RAM	11-01-14	44
RUEDAS GUIA RAM	11-01-14	50
SENSOR RAM	11-01-14	10
PORTACUCHILLO	12-01-14	240
RAM	12-01-14	24
CUCHILLO	13-01-14	0
RAM	13-01-14	0
RAM	14-01-14	70
VALVULA SOLENOIDE	15-01-14	45
SISTEMA NEUMÁTICO	16-01-14	15
TUBOS VACÍO	18-01-14	40
MESA DE ENTRADA	28-01-14	15
CABEZAL DE CORTE	02-02-14	0
PORTACUCHILLO	02-02-14	90
CUCHILLO	03-02-14	0
PORTACUCHILLO	03-02-14	60
CABEZAL DE CORTE	11-02-14	20
PERNOS PORTA RAM	18-02-14	20
SERVOMOTOR	18-02-14	20
TUBOS VACÍO	21-02-14	25
RAM	21-02-14	55
VACÍO	21-02-14	80
TUBOS VACÍO	22-02-14	11
CUCHILLO	23-02-14	75
PROTECCIÓN MESA ENTRADA	23-02-14	20
RAM	23-02-14	50
RAM	23-02-14	40
RAM	23-02-14	10
	25-02-14	120
CILINDRO RAM	26-02-14	30
CILINDRO RAM	26-02-14	30
RAM	26-02-14	0
VALVULA SOLENOIDE	28-02-14	90
RAM	02-03-14	20
RAM	03-03-14	50
RAM	04-03-14	0
RAM	04-03-14	280

RAM	05-03-14	0
VALVULA NEUMÁTICA	05-03-14	20
BOMBA DE VACÍO	06-03-14	240
BOMBA DE VACÍO	06-03-14	50
BOMBA DE VACÍO	06-03-14	30
MESA DE EMPALME	06-03-14	20
RAM	06-03-14	20
BOMBA DE VACÍO	07-03-14	60
RAM	10-03-14	95
SEGURO RAM	10-03-14	30
SENSOR RAM	15-03-14	0
RAM	16-03-14	10
CILINDRO DE CUCHILLO	17-03-14	10
MESA DE EMPALME	23-03-14	44
AJUSTE DE EMPALME	25-03-14	44
GUIAS DE PORTA RAM	25-03-14	70
RAM	27-03-14	130
RAM	27-03-14	480
RAM	30-03-14	15
CORREA DE EMPALME	31-03-14	40
RAM	01-04-14	0
RAM	01-04-14	300
RAM	01-04-14	0
TABLERO	01-04-14	10
CORREA RAM	02-04-14	0
CILINDRO RAM	06-04-14	25
CORREA RAM	07-04-14	25
SERVOMOTOR	10-04-14	0
VALVULA SOLENOIDE	11-04-14	0
TUBOS VACÍO	13-04-14	14
AMORTIGUADOR CILINDRO	14-04-14	14
BUJE COLUMNAS	15-04-14	14
PORTA RAM	15-04-14	39
PASADOR ARTICULACION.	21-04-14	20
RAM	21-04-14	50
PIN DE SEGURIDAD	22-04-14	34
RAM	22-04-14	25
SENSOR RAM	22-04-14	30
POLIN DENTADO	23-04-14	25
RAM	28-04-14	35
SERVOMOTOR	28-04-14	30

PERNOS BIN-BAN	29-04-14	20
CREMALLERAS	30-04-14	30
PERNOS MESA ENTRADA	30-04-14	0
RAM	30-04-14	30
SENSOR RAM	30-04-14	0
EMPALME	03-05-14	25
BOMBA DE VACÍO	12-05-14	35
TUBOS VACÍO	12-05-14	20
CREMALLERAS	19-05-14	25
RAM	20-05-14	40
TUBOS VACÍO	23-05-14	30
SENSOR DE SEGURIDAD CORTADOR	25-05-14	13
BOMBA DE VACÍO	26-05-14	67
BOMBA DE VACÍO	26-05-14	130
SENSOR CUCHILLO	27-05-14	210
CILINDRO DE CUCHILLO	28-05-14	70
RAM	28-05-14	30
PERNOS PORTA RAM	29-05-14	40
RAM	01-06-14	10
SENSOR MESA DE ENTRADA	02-06-14	80
CORREA DE EMPALME	05-06-14	17
CORREA RAM	06-06-14	20
CORREA DE EMPALME	07-06-14	59
SUFRIDERA DE CORTE	09-06-14	30
CILINDRO DE CORTE	15-06-14	30
CUCHILLO	21-06-14	20
SERVOMOTOR	23-06-14	25
AJUSTE	24-06-14	50
CUCHILLO	26-06-14	60
RUEDAS GUIA RAM	26-06-14	20
PORTA RAM	27-06-14	190
GUIA DE CORTE	29-06-14	20
RAM	29-06-14	30
RAM	29-06-14	30
RAM	29-06-14	20
FOTOCELDA	30-06-14	19
PIN DE SEGURIDAD	01-07-14	30
VALVULA SOLENOIDE	01-07-14	30
CORREA RAM	02-07-14	35
TUBOS VACÍO	02-07-14	45
RUEDAS GUIA RAM	03-07-14	130
RUEDAS GUIA RAM	03-07-14	40
TUBOS VACÍO	03-07-14	9
TUBOS VACÍO	03-07-14	45
CORREA DE EMPALME	04-07-14	60
TUBOS VACÍO	04-07-14	25
	04-07-14	15
POLIN DENTADO	06-07-14	20
SENSOR DE SEGURIDAD	06-07-14	75

CORTADOR		
CORREA RAM	08-07-14	29
PROTECCION DE MESA DE CORTE	08-07-14	0
RAM	09-07-14	15
SENSOR CUCHILLO	10-07-14	10
MESA DE ENTRADA	11-07-14	60
SEGURO PROTECCIÓN CUCHILLO	11-07-14	10
RAM	12-07-14	30
FOTOCELDA CUCHILLO	14-07-14	29
FOTOCELDA RAM	15-07-14	0
SENSOR RAM	15-07-14	10
SWITCH SEGURIDAD	15-07-14	0
FOTOCELDA CUCHILLO	16-07-14	10
PORTA RAM	17-07-14	185
PORTA RAM	17-07-14	20
PERNOS BIN-BAN	18-07-14	40
PERNOS BIN-BAN	19-07-14	20
RAM	20-07-14	0
RAM	20-07-14	44
TUBOS VACÍO	20-07-14	40
PORTA RAM	21-07-14	360
CUCHILLO	22-07-14	30
MESA DE EMPALME	24-07-14	17
CILINDRO DE CORTE	25-07-14	40
SOPORTE PLASTICO	25-07-14	60
MESA DE VACÍO	27-07-14	0
REGULADOR DE VACÍO	28-07-14	59
PIN DE SEGURIDAD	29-07-14	120
PIN DE SEGURIDAD	30-07-14	10
CORREA RAM	03-08-14	25
PORTA RAM	05-08-14	10
CREMALLERAS	07-08-14	30
RAM	07-08-14	30
SENSOR PIN	07-08-14	30
FOTOCELDA	09-08-14	22
BOMBA DE VACÍO	12-08-14	60
PERNOS TUBERA	15-08-14	110
CILINDRO DE CORTE	16-08-14	30
CREMALLERAS	17-08-14	30
TUBOS VACÍO	17-08-14	61
TUBOS VACÍO	17-08-14	16
VALVULA DE RAM	17-08-14	50
RAM	19-08-14	35
PERNO CABEZAL DE CORTE	21-08-14	89
RAM	22-08-14	25
SENSOR CUCHILLO	25-08-14	50
SENSOR RAM	26-08-14	20
SENSOR INDUCTIVO	27-08-14	40

GUIA DE CORTE	28-08-14	59
SEGURO PROTECCIÓN CUCHILLO	28-08-14	30
CORREA DE EMPALME	29-08-14	20
CUCHILLO	29-08-14	19
RAM	29-08-14	29
SENSOR CUCHILLO	29-08-14	30
CREMALLERAS	30-08-14	30
SENSOR RAM	30-08-14	29
RAM	31-08-14	4
RAM	03-09-14	15
CORREA RAM	07-09-14	30
CORREA RAM	07-09-14	25
TUBOS VACÍO	07-09-14	29
SENSOR MESA DE ENTRADA	08-09-14	11
SENSOR RAM	08-09-14	12
CREMALLERAS	09-09-14	31
GUIAS DE PORTA RAM	09-09-14	55
VASTAGO DE RAM	09-09-14	30
CORTADOR	11-09-14	56
MESA DE EMPALME	12-09-14	10
PORTA RAM	12-09-14	40
TUBOS VACÍO	12-09-14	26
TUBOS VACÍO	14-09-14	20
ARTICULACION	16-09-14	20
CORREA DE EMPALME	16-09-14	61
RAM	16-09-14	120
TUBOS VACÍO	16-09-14	40
VALVULA SOLENOIDE	16-09-14	29
MESA DE ENTRADA	17-09-14	60
PERNOS PORTA RAM	17-09-14	40
RAM	17-09-14	70
RELE DE CONTROL	17-09-14	100
AJUSTE	20-09-14	25

EMPALME	24-09-14	119
RAM	24-09-14	42
ARTICULACION	26-09-14	80
SERVOMOTOR	26-09-14	119
PERNOS EMPALME	27-09-14	14
PORTA RAM	29-09-14	45
CUCHILLO	30-09-14	210
RAM	05-10-14	35
CILINDRO DE CORTE	07-10-14	15
RAM	07-10-14	25
CREMALLERAS	08-10-14	41
SENSOR RAM	08-10-14	35
CILINDRO RAM	11-10-14	24
CUCHILLO	12-10-14	15
PORTACUCHILLO	12-10-14	0
RAM	14-10-14	10
VALVULA DE RAM	16-10-14	60
VALVULA NEUMÁTICA	16-10-14	20
RAM	17-10-14	45
RAM	18-10-14	20
PIN DE SEGURIDAD	20-10-14	50
SEGURO RAM	20-10-14	0
PORTA RAM	21-10-14	20
CORREA RAM	27-10-14	0
CORREA RAM	27-10-14	44
RAM	27-10-14	80
RAM	27-10-14	10
GUIA DE CORTE	28-10-14	20
RAM	28-10-14	10
PASADOR ARTICULACION.	02-11-14	40
CORREA RAM	06-11-14	25
RAM	07-11-14	40

Anexo 3: Cálculo de la criticidad

Tabla 44: Cálculo de Criticidad

	Nº Fallas	Frecuencia	Tiempo Total de fallos	Tpo. Total Fallo/Nº Fallos (T/N)	FTD	(T/N)X Cto por min	FIP	FIA	FIS	Costo pieza	hh.hh	Suma CP-HH.HH	FCR	a	b	Consecuencia	Criticidad	Matriz de criticidad
AJUSTE	1	1	44,4	44,4	3	799	2	1	1	0	3.837	3.837	2	4	6	10	10	B
AMORTIGUADOR CILINDRO	1	1	14,4	14,4	1	366	1	1	1	0	1.244	1.244	1	3	1	4	4	B
ARTICULACION	3	1	159,8	53,3	3	1046	3	1	1	0	4.603	4.603	2	4	9	13	13	B
BOMBA DE VACIO	8	3	671,2	83,9	4	2623	5	2	1	1.626.196	7.251	1.633.447	5	8	20	28	84	A
BUJE COLUMNAS	1	1	14,4	14,4	1	366	1	1	1	0	1.244	1.244	1	3	1	4	4	B
CABEZAL DE CORTE	2	1	20,0	10,0	1	2087	4	4	3	0	864	864	1	8	4	12	12	B
CILINDRO CORTADOR	4	2	115,0	28,8	2	743	2	3	2	0	2.485	2.485	1	6	4	10	20	M
CILINDRO DE CUCHILLO	3	1	139,4	46,5	3	1046	3	3	2	0	4.016	4.016	2	7	9	16	16	M
CILINDRO RAM	4	2	109,2	27,3	2	628	1	2	1	84.039	2.359	86.398	3	6	2	8	16	M
CORREA DE EMPALME	6	2	257,0	42,8	3	1554	4	4	2	386.107	3.702	389.808	4	10	12	22	44	A
CORREA RAM	11	3	257,8	23,4	1	611	1	4	1	7	2.025	2.032	1	6	1	7	21	M
CORTADOR	1	1	56,0	56,0	3	1517	4	4	4	0	4.840	4.840	2	10	12	22	22	M
CREMALLERAS	7	2	216,4	30,9	2	809	2	1	1	7	2.672	2.678	1	3	4	7	14	B
CUCHILLO	9	3	429,2	47,7	3	817	2	3	5	55.500	4.121	59.621	3	11	6	17	51	A
EMPALME	2	1	144,0	72,0	4	2056	4	4	2	0	6.222	6.222	2	8	16	24	24	M
EXENTRICA	1	1	15,0	15,0	1	392	1	2	2	7	1.296	1.303	1	5	1	6	6	B
FOTOCELDA	2	1	41,2	20,6	1	539	1	1	2	1.827	1.780	3.607	2	5	1	6	6	B
FOTOCELDA CUCHILLO	2	1	39,0	19,5	1	510	1	1	1	1.827	1.685	3.512	2	4	1	5	5	B
FOTOCELDA DE SEGURIDAD PUERTA.	1	1	0,0	0,0	1	0	1	1	1	1.827	0	1.827	1	3	1	4	4	B
GUIAS DE PORTA RAM	3	1	99,4	33,1	2	1439	3	2	1	0	2.863	2.863	2	5	6	11	11	B
GUIAS DE PORTA RAM	2	1	125,2	62,6	4	1439	3	2	1	0	5.410	5.410	2	5	12	17	17	M
MESA DE EMPALME	4	2	91,4	22,9	1	840	2	3	1	0	1.975	1.975	1	5	2	7	14	B
MESA DE ENTRADA	3	1	135,0	45,0	3	810	2	2	1	111	3.889	3.999	2	5	6	11	11	B
MESA Y CORREA	1	1	0,0	0,0	1	523	1	3	2	0	0	0	1	6	1	7	7	B
PASADOR ARTICULACION.	2	1	59,8	29,9	2	518	1	1	1	4.800	2.584	7.384	3	5	2	7	7	B
PERNO SOPORTE CABEZAL DE CORTE	1	1	89,4	89,4	5	2338	4	3	2	351	7.726	8.077	3	8	20	28	28	M
PERNOS MESA DE VACIO	1	1	14,4	14,4	1	0	1	3	2	5.727	1.244	6.971	3	8	1	9	9	B
PERNOS MESA DE VACIO	1	1	0,0	0,0	1	0	1	3	2	5.727	0	5.727	2	7	1	8	8	B
PERNOS PORTA RAM	3	1	99,6	33,2	2	1036	3	2	2	5.019	2.869	7.888	3	7	6	13	13	B
PERNOS BIN-BAN	3	1	79,8	26,6	2	785	2	1	2	111	2.299	2.409	1	4	4	8	8	B
PERNOS BIN-BAN	1	1	110,0	110,0	5	785	2	1	2	111	9.506	9.617	3	6	10	16	16	M
PIN DE SEGURIDAD	5	2	244,6	48,9	3	821	2	2	3	7	4.228	4.234	2	7	6	13	26	M
POLIN DENTADO DE MESA ROSANDO	2	1	44,6	22,3	1	523	1	1	1	7	1.927	1.934	1	3	1	4	4	B
PORTA RAM	9	3	909,0	101,0	5	3232	5	4	3	2.898.084	8.728	2.906.812	5	12	25	37	111	A
PORTACUCHILLO	4	2	390,0	97,5	5	6278	5	4	4	3.429.342	8.426	3.437.767	5	13	25	38	76	A
PROTECCION DE MESA DE CORTE	1	1	0,0	0,0	1	0	1	1	4	260.000	0	260.000	4	9	1	10	10	B
PROTECCION DE MESA DE CORTE	1	1	19,8	19,8	1	0	1	1	4	260.000	1.711	261.711	4	9	1	10	10	B
RAM	58	4	2803,2	48,3	3	1171	3	4	2	700.000	4.177	704.177	5	11	9	20	80	A
REGULADOR DE VACIO RAM	1	1	59,0	59,0	3	1554	4	4	1	0	5.099	5.099	2	7	12	19	19	M
RELE DE CONTROL	1	1	100,2	100,2	5	2621	5	1	1	0	8.659	8.659	3	5	25	30	30	M
RODAMIENTO	4	2	239,6	59,9	4	1161	3	1	1	7	5.177	5.183	2	4	12	16	32	M
SISTEMA NEUMÁTICO	2	1	75,0	37,5	2	981	2	3	2	7	3.241	3.247	2	7	4	11	11	B
SEGURO PROTECCIÓN DEL CUCHILLO	3	1	68,8	22,9	1	262	1	1	4	7	1.982	1.988	1	6	1	7	7	B
SEGURIDAD Y PROTECCION DE RAM	2	1	30,0	15,0	1	785	2	2	4	0	1.296	1.296	1	7	2	9	9	B
SENSOR CUCHILLO	4	2	300,0	75,0	4	785	2	3	3	20.690	6.482	27.171	3	9	8	17	34	M
SENSOR DE SEGURIDAD PUERTA COR	1	1	40,2	40,2	3	345	1	2	4	20.690	3.474	24.164	3	9	3	12	12	B
SENSOR MESA DE ENTRADA	2	1	90,6	45,3	3	2087	4	2	3	7	3.915	3.921	2	7	12	19	19	M
SENSOR PIN	1	1	30,0	30,0	2	785	2	1	2	7	2.593	2.599	1	4	4	8	8	B
SENSOR RAM	9	3	145,6	16,2	1	469	1	3	3	20.690	1.398	22.088	3	9	1	10	30	M
SERVOMOTOR	5	2	193,8	38,8	2	1517	4	1	1	0	3.350	3.350	2	4	8	12	24	M
SOPORTE PLASTICO	1	1	60,0	60,0	4	1177	3	2	1	7	5.185	5.192	2	5	12	17	17	M
SUFRIDERA DE CORTE	1	1	30,0	30,0	2	785	2	3	3	0	2.593	2.593	1	7	4	11	11	B
SWITCH SEGURIDAD	1	1	0,0	0,0	1	0	1	1	3	7	0	7	1	5	1	6	6	B
TABLERO	1	1	9,6	9,6	1	251	1	3	1	0	830	830	1	5	1	6	6	B
TUBOS DE VACIO	18	4	511,6	28,4	2	839	2	3	2	719.264	2.456	721.720	5	10	4	14	56	A
VACIO	1	1	79,8	79,8	4	957	2	4	2	0	6.896	6.896	3	9	8	17	17	M
VALVULA DE RAM	2	1	109,8	54,9	3	1436	3	3	1	7	4.744	4.751	2	6	9	15	15	B
VALVULA DE RAM	2	1	40,4	20,2	1	1436	3	3	1	7	1.746	1.752	1	5	3	8	8	B
VALVULA SOLENOIDE	5	2	194,4	38,9	2	959	2	2	1	123.000	3.360	126.360	3	6	4	10	20	M
VARIADOR	1	1	220,0	220,0	5	5755	5	2	1	5.105.503	19.012	5.124.515	5	8	25	33	33	M
VASTAGO DE RAM	1	1	30,0	30,0	2	785	2	4	1	0	2.593	2.593	1	6	4	10	10	B

Fuente: [Elaboración propia]

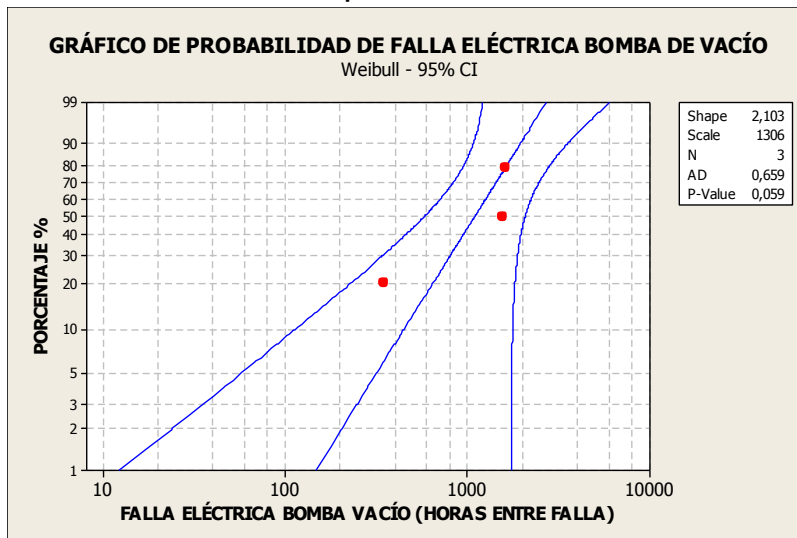
Anexo 4: Gráficas y tablas de Minitab para cálculo de frecuencia

Tabla 45: Porcentajes y probabilidades para Falla eléctrica BOMBA DE VACIO

Percent	ELECT BBA	Lower Bound	Upper Bound
1	146,470	12,3326	1739,58
2	204,155	23,9860	1737,65
3	248,177	35,4139	1739,20
4	285,262	46,7142	1741,96
5	317,984	57,9342	1745,32
6	347,652	69,1017	1749,04
7	375,038	80,2354	1753,01
8	400,643	91,3487	1757,17
9	424,812	102,451	1761,47
10	447,796	113,552	1765,91
20	639,847	225,401	1816,34
30	799,735	340,303	1879,43
40	948,718	459,002	1960,92
50	1096,93	581,135	2070,51
60	1252,63	705,324	2224,61
70	1426,32	829,302	2453,14
80	1637,45	950,907	2819,67
90	1941,52	1071,86	3516,77
91	1983,27	1084,42	3627,16
92	2028,83	1097,22	3751,43
93	2079,15	1110,35	3893,26
94	2135,62	1123,92	4058,01
95	2200,36	1138,13	4254,00
96	2276,84	1153,24	4495,16
97	2371,45	1169,78	4807,55
98	2498,12	1188,77	5249,63
99	2699,64	1213,15	6007,51

Fuente: [Elaboración propia]

Gráfico 8: Probabilidad para Falla eléctrica BOMBA DE VACIO



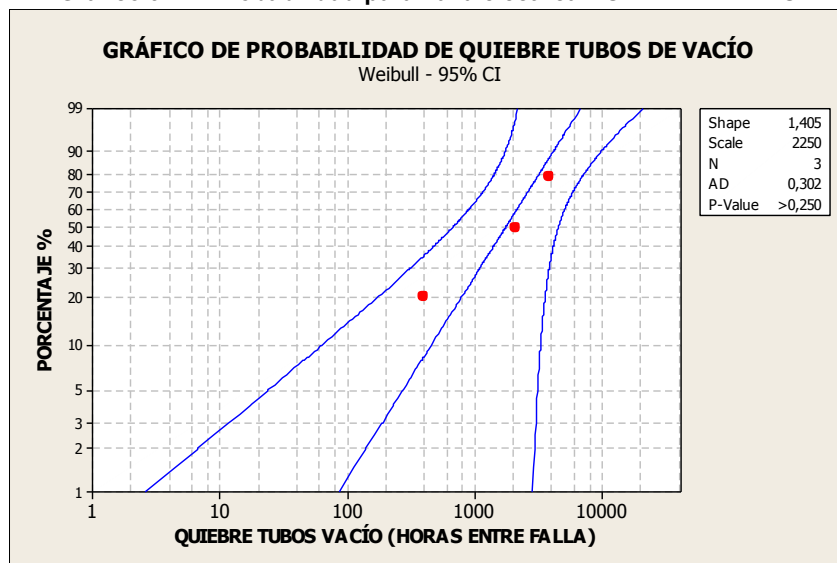
Fuente: [Elaboración propia]

Tabla 46: Porcentajes y probabilidades de Quiebre de TUBOS DE VACIO

QUIEBRE			
Percent	TBOS	Lower Bound	Upper Bound
1	85,1426	2,56282	2828,63
2	139,958	6,69789	2924,54
3	187,467	11,7559	2989,47
4	230,916	17,5340	3041,06
5	271,672	23,9229	3085,13
6	310,477	30,8528	3124,38
7	347,791	38,2747	3160,28
8	383,927	46,1527	3193,75
9	419,108	54,4588	3225,40
10	453,500	63,1710	3255,65
20	773,697	169,824	3524,86
30	1080,35	307,747	3792,57
40	1395,12	474,471	4102,16
50	1733,67	668,914	4493,29
60	2114,70	889,896	5025,24
70	2568,39	1135,87	5807,53
80	3157,86	1406,94	7087,79
90	4074,87	1716,08	9675,84
91	4206,74	1751,15	10105,7
92	4352,20	1787,58	10596,3
93	4514,77	1825,71	11164,5
94	4699,55	1866,02	11835,7
95	4914,37	1909,24	12649,5
96	5172,23	1956,51	13673,3
97	5497,21	2009,89	15035,3
98	5942,50	2073,68	17029,3
99	6674,19	2160,23	20620,4

Fuente: [Elaboración propia]

Gráfico 9: Probabilidad para Falla eléctrica BOMBA DE VACIO



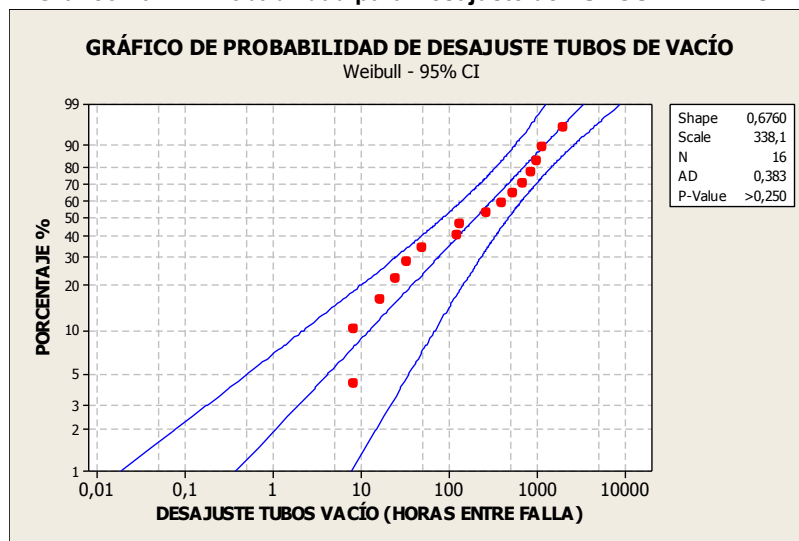
Fuente: [Elaboración propia]

Tabla 47: Porcentajes y probabilidades de Desajuste de TUBOS DE VACIO

DESAJUSTE			
Percent	TBOS	Lower Bound	Upper Bound
1	0,374807	0,0182999	7,67659
2	1,05284	0,0762336	14,5405
3	1,93254	0,176042	21,2149
4	2,98026	0,319363	27,8115
5	4,17780	0,507659	34,3813
6	5,51372	0,742323	40,9540
7	6,98029	1,02472	47,5492
8	8,57208	1,35619	54,1814
9	10,2852	1,73812	60,8620
10	12,1169	2,17186	67,6003
20	36,7698	9,68186	139,644
30	73,5866	24,1449	224,270
40	125,188	47,7078	328,502
50	196,627	83,4052	463,548
60	297,127	135,839	649,921
70	444,998	212,857	930,311
80	683,644	330,905	1412,40
90	1161,22	540,666	2494,04
91	1240,68	572,656	2687,98
92	1331,50	608,372	2914,14
93	1436,93	648,785	3182,53
94	1561,84	695,316	3508,27
95	1713,87	750,161	3915,61
96	1906,04	816,985	4446,82
97	2163,35	902,636	5184,89
98	2543,44	1022,41	6327,29
99	3237,56	1224,77	8558,22

Fuente: [Elaboración propia]

Gráfico 10: Probabilidad para Desajuste de TUBOS DE VACIO



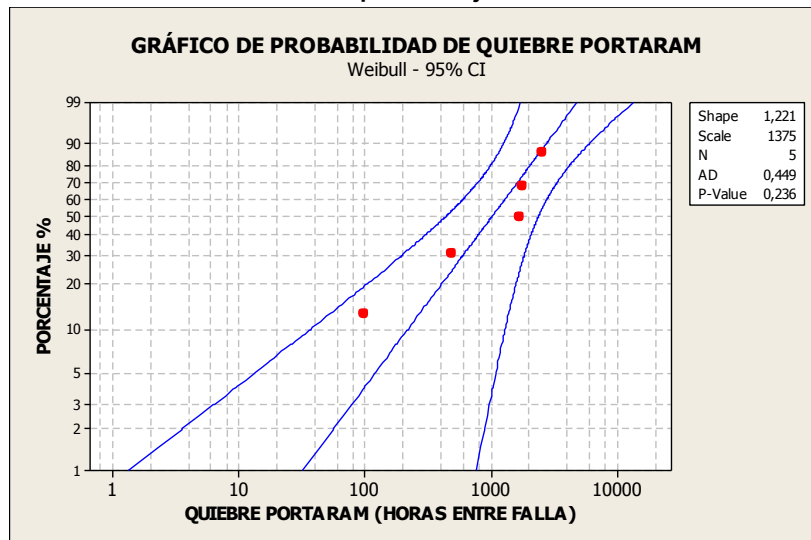
Fuente: [Elaboración propia]

Tabla 48: Porcentajes y probabilidades de Quiebre de PORTA RAM

QUIEBRE			
Percent	PORTARAM	Lower Bound	Upper Bound
1	31,7881	1,31947	765,823
2	56,3102	3,57371	887,269
3	78,8152	6,40714	969,518
4	100,175	9,70374	1034,13
5	120,772	13,4000	1088,51
6	140,824	17,4549	1136,14
7	160,465	21,8399	1178,99
8	179,792	26,5337	1218,27
9	198,873	31,5197	1254,78
10	217,761	36,7852	1289,10
20	402,600	103,201	1570,59
30	591,126	192,442	1815,77
40	793,293	303,737	2071,90
50	1018,56	437,447	2371,62
60	1280,10	594,275	2757,42
70	1600,87	775,530	3304,57
80	2030,44	985,892	4181,66
90	2722,49	1247,47	5941,62
91	2824,10	1279,32	6234,19
92	2936,73	1313,03	6568,29
93	3063,28	1349,06	6955,71
94	3207,95	1388,06	7413,93
95	3377,23	1431,00	7970,41
96	3581,89	1479,48	8671,88
97	3842,00	1536,38	9607,59
98	4202,16	1607,83	10982,6
99	4802,74	1712,04	13473,0

Fuente: [Elaboración propia]

Gráfico 11: Probabilidad para Desajuste de TUBOS DE VACIO



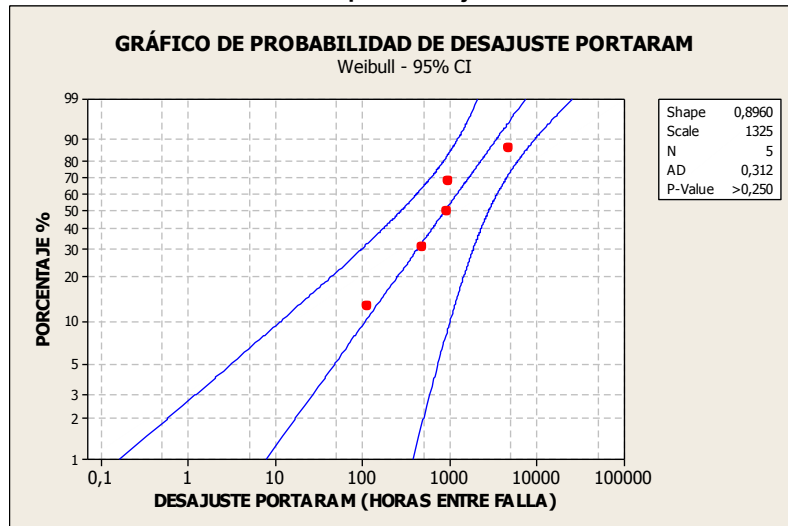
Fuente: [Elaboración propia]

Tabla 49: Porcentajes y probabilidades de Desajuste de PORTA RAM

DESAJUSTE			
Percent	PORTARAM	Lower Bound	Upper Bound
1	7,80375	0,162423	374,937
2	17,0112	0,582110	497,124
3	26,8995	1,22942	588,556
4	37,2979	2,09172	665,066
5	48,1242	3,16166	732,506
6	59,3304	4,43457	793,786
7	70,8858	5,90741	850,593
8	82,7694	7,57821	904,010
9	94,9665	9,44581	954,776
10	107,467	11,5096	1003,43
20	248,322	43,0698	1431,72
30	419,132	95,7095	1835,46
40	625,837	172,295	2273,26
50	879,838	277,063	2794,00
60	1201,38	416,170	3468,11
70	1629,42	599,525	4428,50
80	2252,81	846,929	5992,40
90	3359,87	1216,79	9277,51
91	3531,91	1267,13	9844,61
92	3725,27	1321,74	10499,5
93	3945,74	1381,64	11268,4
94	4201,87	1448,28	12190,8
95	4506,90	1523,86	13329,4
96	4883,17	1611,99	14792,5
97	5372,72	1719,23	16790,2
98	6070,60	1859,78	19815,4
99	7282,83	2076,53	25542,4

Fuente: [Elaboración propia]

Gráfico 12: Probabilidad para Desajuste de TUBOS DE VACIO



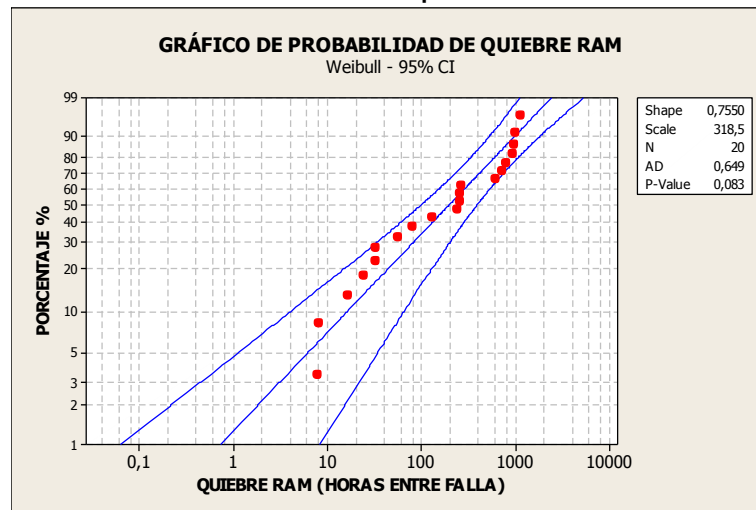
Fuente: [Elaboración propia]

Tabla 50: Porcentajes y probabilidades para Quiebre de RAM

Percent	QUIEBRE RAM	Lower Bound	Upper Bound
1	0,719613	0,0621623	8,33049
2	1,81431	0,216023	15,2378
3	3,12517	0,448609	21,7711
4	4,60587	0,754689	28,1097
5	6,23237	1,13133	34,3335
6	7,98987	1,57671	40,4881
7	9,86846	2,08972	46,6027
8	11,8611	2,66966	52,6982
9	13,9628	3,31618	58,7902
10	16,1696	4,02917	64,8911
20	43,6866	14,8963	128,120
30	81,3063	33,1770	199,256
40	130,839	60,3250	283,779
50	196,019	98,6233	389,599
60	283,683	151,678	530,573
70	407,278	225,797	734,624
80	598,203	334,466	1069,91
90	961,294	519,714	1778,06
91	1019,98	547,404	1900,53
92	1086,58	578,187	2041,99
93	1163,31	612,864	2208,13
94	1253,45	652,607	2407,48
95	1362,15	699,221	2653,59
96	1498,13	755,718	2969,87
97	1677,98	827,706	3401,73
98	1939,66	927,676	4055,61
99	2407,44	1095,03	5292,80

Fuente: [Elaboración propia]

Gráfico 13: Probabilidad para Quiebre de RAM



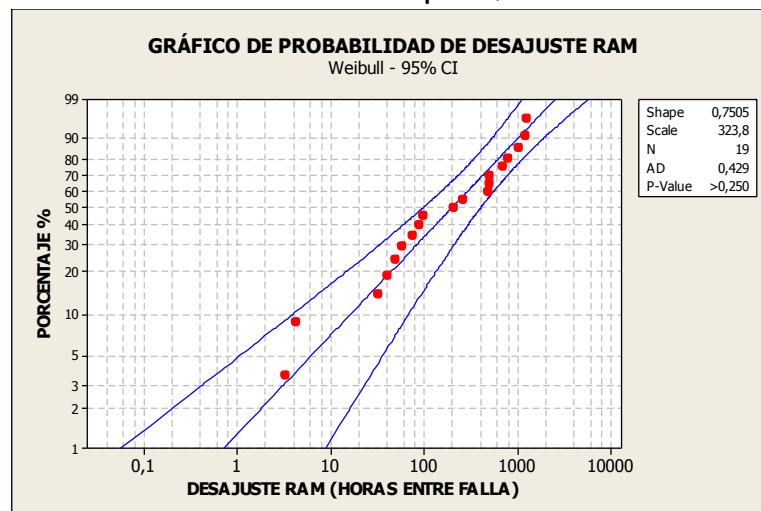
Fuente: [Elaboración propia]

Tabla 51: Porcentajes y probabilidades para Desajuste de RAM

DESAJUSTE			
Percent	RAM	Lower Bound	Upper Bound
1	0,704933	0,0567593	8,75505
2	1,78733	0,200247	15,9531
3	3,08891	0,419526	22,7433
4	4,56320	0,710183	29,3203
5	6,18601	1,06977	35,7709
6	7,94244	1,49683	42,1440
7	9,82250	1,99048	48,4714
8	11,8191	2,55025	54,7755
9	13,9271	3,17595	61,0731
10	16,1428	3,86761	67,3775
20	43,8788	14,5152	132,644
30	81,9734	32,6116	206,051
40	132,296	59,6589	293,371
50	198,689	97,9788	402,919
60	288,195	151,210	549,278
70	414,668	225,691	761,881
80	610,485	334,941	1112,71
90	983,868	521,061	1857,74
91	1044,31	548,861	1986,99
92	1112,92	579,759	2136,40
93	1192,01	614,559	2312,04
94	1284,96	654,430	2522,98
95	1397,10	701,182	2783,70
96	1537,46	757,825	3119,15
97	1723,22	829,967	3577,85
98	1993,72	930,096	4273,65
99	2477,79	1097,58	5593,59

Fuente: [Elaboración propia]

Gráfico 14: Probabilidad para Quiebre de RAM



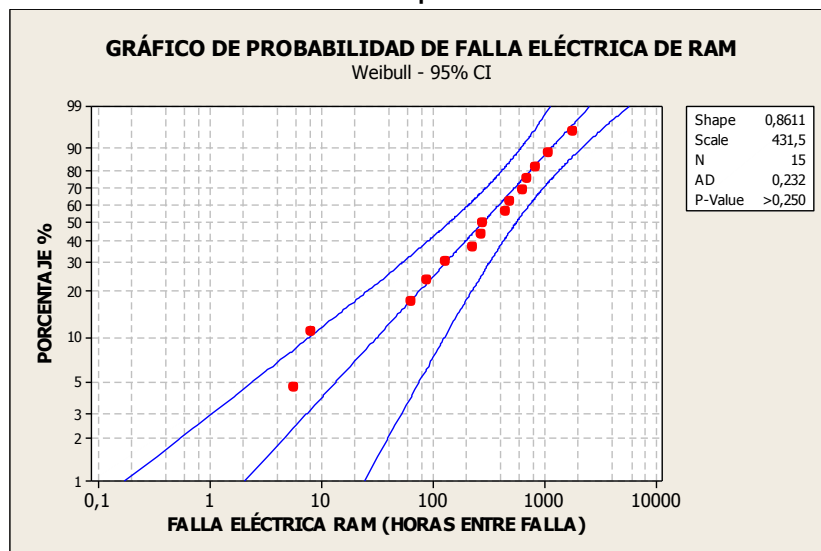
Fuente: [Elaboración propia]

Tabla 52: Porcentajes y probabilidades para Falla eléctrica de RAM

Percent	ELECT RAM	Lower Bound	Upper Bound
1	2,06429	0,175020	24,3474
2	4,64439	0,544775	39,5949
3	7,48186	1,06030	52,7945
4	10,5125	1,70309	64,8898
5	13,7049	2,46251	76,2730
6	17,0402	3,33162	87,1557
7	20,5065	4,30556	97,6685
8	24,0953	5,38079	107,900
9	27,8006	6,55466	117,912
10	31,6181	7,82521	127,754
20	75,5842	25,6739	222,520
30	130,313	53,0346	320,195
40	197,769	90,9730	429,938
50	281,904	141,451	561,820
60	389,823	207,642	731,845
70	535,285	295,128	970,866
80	749,866	415,926	1351,92
90	1136,64	607,584	2126,38
91	1197,26	635,042	2257,24
92	1265,54	665,261	2407,47
93	1343,57	698,938	2582,75
94	1434,44	737,089	2791,54
95	1542,95	781,269	3047,22
96	1677,21	834,057	3372,72
97	1852,52	900,215	3812,25
98	2103,55	990,247	4468,49
99	2542,31	1136,82	5685,44

Fuente: [Elaboración propia]

Gráfico 15: Probabilidad para Falla eléctrica de RAM



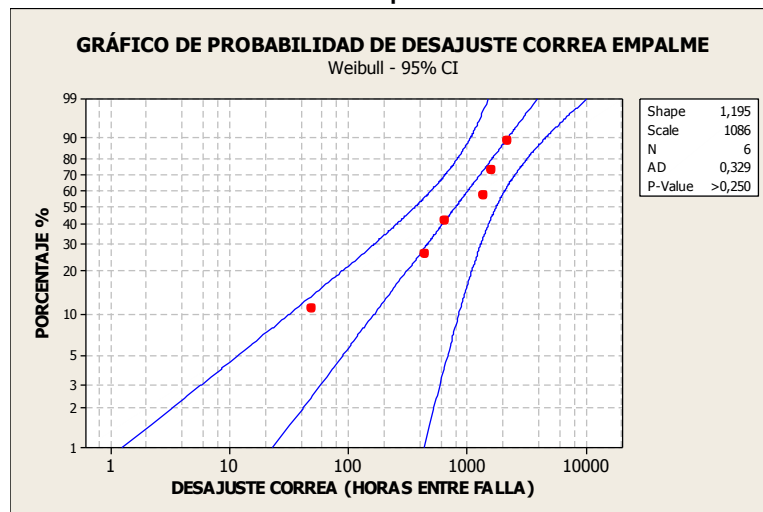
Fuente: [Elaboración propia]

Tabla 53: Porcentajes y probabilidades para CORREA DE EMPALME

Percent	CORREA	Lower Bound	Upper Bound
1	23,1117	1,23701	431,809
2	41,4582	3,27786	524,362
3	58,4576	5,80227	588,958
4	74,6925	8,70874	640,617
5	90,4214	11,9423	684,627
6	105,790	15,4679	723,533
7	120,891	19,2609	758,777
8	135,791	23,3034	791,261
9	150,535	27,5814	821,595
10	165,161	32,0840	850,208
20	309,503	88,1217	1087,04
30	458,285	162,379	1293,43
40	619,007	254,328	1506,60
50	799,156	364,530	1751,98
60	1009,42	494,135	2062,06
70	1268,58	645,358	2493,65
80	1617,40	824,356	3173,38
90	2182,70	1055,19	4514,97
91	2265,98	1084,11	4736,29
92	2358,38	1114,94	4988,59
93	2462,29	1148,13	5280,64
94	2581,19	1184,37	5625,41
95	2720,47	1224,66	6043,28
96	2889,06	1270,64	6568,88
97	3103,63	1325,29	7268,24
98	3401,27	1395,02	8292,82
99	3898,81	1498,95	10140,9

Fuente: [Elaboración propia]

Gráfico 16: Probabilidad para Falla eléctrica de RAM



Fuente: [Elaboración propia]

Anexo 5: Tablas para el Análisis modal de fallos y efectos

Tabla 54: Análisis Modal de Fallos y Efectos para PORTA RAM.

Nombre del Producto	Función u Operación	Modo potencial de fallo	Efectos del fallo	Causa del fallo	Acción Correctiva	Control Actual	Responsable	Control Recomendado	Periodicidad de Mantenimiento y Recomendaciones
PORTA RAM	SE ENCARGA DE SOSTENER LA RAM Y DARLE DIRECCIÓN.	QUIEBRE	NO TOMA BREAKER BREAKER SE APELOTONA	REITERADOS CHOQUES CON EL CUCHILLO Y PORTA CUCHILLO	CAMBIO DE PORTA RAM; REPARACIÓN DE PORTA RAM	NO EXISTE	MECÁNICO	INSPECCIÓN DE SENSORES DE POSICIÓN VERIFICAR DESGASTE DE RUEDAS, RODAMIENTOS Y ESTRUCTURAS; CAMBIAR SI ES NECESARIO	CADA 1018 HORAS DE FUNCIONAMIENTO
		DESAJUSTE	EMPLAME DEFECTUOSO	FATIGA DE MATERIAL Y/O ALTA VIBRACIÓN EN LA MÁQUINA; REITERADOS CHOQUES CON CORTADOR	SE REGULAN PERNOS DE FIJACIÓN; SE REUBICA PORTA RAM; CAMBIO DE RUEDAS GUJA	NO EXISTE	MECÁNICO		CADA 879 HORAS DE FUNCIONAMIENTO
		FALLA ELÉCTRICA	NO SE DETECTA PORTA RAM	CABLE DESCONECTADO; SENSOR FUERA DE POSICIÓN, DAÑADO O FUNCIONAMIENTO INADECUADO	CONEXIÓN DE CABLES; POSICIONAMIENTO CORRECTO O CAMBIO DE SENSOR	REVISIÓN MENSUAL DE: SISTEMA DE ACCIONAMIENTO, TABLERO DE OPERACIÓN Y TABLERO DE CONTROL	ELECTRICO	REVISIÓN DE SENSORES Y CABLES EN OPERACIÓN	CADA 6495 HORAS DE FUNCIONAMIENTO

Fuente: [Elaboración Propia]

Tabla 55: Análisis Modal de Fallos y Efectos para CORREA DE EMPALME.

Nombre del Producto	Función u Operación	Modo potencial de fallo	Efectos del fallo	Causa del fallo	Acción Correctiva	Control Actual	Responsable	Control Recomendado	Periodicidad de Mantenimiento y Recomendaciones
CORREA DE EMPALME	SE ENCARGA DE TRANSPORTAR BRAKER EMPALMADO HACIA LA SIGUIENTE FASE.	DESAJUSTE	CORREA MONTADA; CORREA TOCA CUCHILLO; EMPALME DEFECTUOSO; MATERIAL DEFECTUOSO	DESGASTE DE MATERIAL; TENSION DE LA CORREA;	AJUSTAR TENSION DE CORREA; ALINEACIÓN DE CORRE	NO EXISTE	MECÁNICO	REVISAR CONOS DE AJUSTES. EIE, RODAMIENTOS DE POLIN MOTRIZ Y CONDUCCION; REALIZAR LIMPIEZA DE POLIN	Cada 799 hrs de funcionamiento

Fuente: [Elaboración Propia]

Tabla 56: Análisis Modal de Fallos y Efectos para TUBOS VACÍO.

Nombre del Producto	Función u Operación	Modo potencial de fallo	Efectos del fallo	Causa del Fallo	Acción Correctiva	Control Actual	Responsable	Control Recomendado	Periodicidad de Mantenimiento y Recomendaciones
TUBOS VACIO	SE ENCARGA DE GUIAR EL VACIO HACIA LA RAM.	DESAJUSTE (ESPLAZAMIENTO DE TUBOS)	NO TOMA BREAKER; PRODUCE SCRAP	ALTA VIBRACIÓN ; CHOQUE CON CUCHILLO Y PORTACUCHILLO	SE REPONEN Y/O AJUSTAN PERNOS DE FIJACIÓN SE POSICIONAN TUBOS			REVISIÓN DE PERNOS Y FIJACIONES REVISIÓN DE POSICIÓN DE TUBOS DE VACIO	CADA 1733 HORAS DE FUNCIONAMIENTO
		QUIEBRE	NO TOMA BREAKER; PRODUCE SCRAP	DESGASTE DE MATERIAL; ALTA VIBRACIÓN; CHOQUE CON CUCHILLO Y PORTACUCHILLO	SE SELLAN TUBOS SE CAMBIAN TUBOS	NO EXISTE	MECÁNICO	CHEQUEO DEL ESTADO DE TUBOS REALIZAR CAMBIO	CADA 196 HORAS DE FUNCIONAMIENTO

Fuente: [Elaboración Propia]

Tabla 57: Análisis Modal de Fallos y Efectos para BOMBA DE VACÍO.

Nombre del Producto	Función u Operación	Modo potencial de fallo	Efectos del fallo	Causa del Fallo	Acción Correctiva	Control Actual	Responsable	Control Recomendado	Periodicidad de Mantenimiento y Recomendaciones
BOMBA DE VACIO	SE ENCARGA DE EXTRAER MOLECULAS DE GAS EN ESTE CASO AIRE, DE UN VOLUMEN SELLADO, FORMANDO UN VACIO PARCIAL, TAMBIEN LLEGAN A EXTRAER SUSTANCIAS NO DESEADAS EN EL PROCESO.	ROTURA	NO TOMA BREAKER; PIERDE VACIO	FATIGA DE MATERIAL; CUMPLIMIENTO DE VIDA ÚTIL	CAMBIO DE BOMBA O PARTE AFECTADA	REVISIÓN DE SISTEMA DE VACIO	MECÁNICO	REVISIÓN DEL SISTEMA DE VACIO, MANGUERAS, VENTILADOR, ESTRUCTURA GENERAL	CADA 1299 HRS DE FUNCIONAMIENTO
		FALLA ELÉCTRICA	BOMBA NO FUNCIONA; BOMBA TRABADA	CUMPLIO SU VIDA UTIL; POR SOBRECARGA EN DRIVE (EQUIPO EXPUESTO A ALTA TEMPERATURA), ALTA CONTAMINACION AMBIENTAL INTERNA	CAMBIO DE BOMBA CONEXIÓN DE BOBINA Y CABLES QUE PUEDAN ESTAR EN MAL ESTADO	REVISIÓN DE SISTEMA DE VACIO	ELECTRICO	REVISAR CONEXIÓN DE BOBINA Y CABLES QUE PUEDAN ESTAR EN MAL ESTADO	CADA 1096 HORAS DE FUNCIONAMIENTO

Fuente: [Elaboración Propia]

Tabla 58: Análisis Modal de Fallos y Efectos para CUCHILLO.

Nombre del Producto	Función u Operación	Modo potencial de fallo	Control Actual	Responsable	Control Recomendado	Periódidad de Mantenimiento y Recomendaciones
CUCHILLO	SE ENCARGA DE CORTAR BREAKER.	QUIEBRE	NO EXISTE	MECÁNICO	INSPECCIÓN VISUAL; LUBRICACIÓN DE BUJES; REVISAR SUJECIÓN DEL CUCHILLO	CADA 2165 HORAS DE FUNCIONAMIENTO
		DESAFILADO	NO EXISTE	MECÁNICO	INSPECCIÓN VISUAL	CADA 2165 HORAS DE FUNCIONAMIENTO
		PIERDE SECUENCIA	REVISIÓN SENSOR	MECÁNICO	LUBRICACIÓN DE BUJES; AJUSTE DE SENSOR	CADA 3248 HORAS DE FUNCIONAMIENTO
		FALLA ELÉCTRICA	CHEQUEO DE POSICIÓN DE SENSORES; APRIETE DE LINEAS	ELÉCTRICO	REVISIÓN Y REAPRIETE DE LINEAS; AJUSTE O CAMBIO DE SENSOR	CADA 6495 HORAS DE FUNCIONAMIENTO

Fuente: [Elaboración Propia]