

DISEÑO DE UN PLAN PARA MEJORAR LA CONFIABILIDAD DE LOS
EQUIPOS CRÍTICOS DE LA EMPRESA INSER LTDA MEDIANTE LA
METODOLOGÍA FMECA Y RCA

JAIME ALFONSO CABEZA MANRIQUE

SERGIO ANDRES PADILLA MULFORD

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR
ESPECIALIZACIÓN GERENCIA DE LA PRODUCCIÓN Y CALIDAD
CARTAGENA D.T.C.

2010

DISEÑO DE UN PLAN PARA MEJORAR LA CONFIABILIDAD DE LOS
EQUIPOS CRÍTICOS DE LA EMPRESA INSER LTDA MEDIANTE LA
METODOLOGÍA FMECA Y RCA

Trabajo integrador presentado como requisito para optar el título de
Especialistas en Producción y Calidad

JAIME ALFONSO CABEZA MANRIQUE

SERGIO ANDRES PADILLA MULFORD

Director

GONZALO CARDOZO CORREA

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR
ESPECIALIZACIÓN GERENCIA DE LA PRODUCCIÓN Y CALIDAD
CARTAGENA D.T.C.

2010

CONTENIDO

Pag.

INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS DE PROYECTO	4
CAPITULO 1.	
CONTEXTO ESTRATÉGICO DE LA EMPRESA INSER LTDA	5
1.1 Reseña histórica de la empresa Inser Ltda.....	5
1.1.1 Recursos Activos físicos.....	7
1.1.2 Recursos humanos.....	10
1.1.3 Recursos Financieros.....	13
1.2 Misión.....	17
1.3 Visión al 2012.....	18
1.4 Política integral.....	19
1.5 Mapa de procesos.....	20
1.6 Análisis DOFA.....	21
1.7 Objetivos y estrategias corporativas.....	23
1.8 Objetivos y estrategias Corporativas incorporadas por el proyecto.....	25
CAPITULO 2.	
ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO ACTUAL DE LA GESTIÓN DE CONFIABILIDAD DE LOS EQUIPOS CRÍTICOS DE LA EMPRESA INSER LTDA	26
2.1 Análisis financiero.....	26
2.2 Estructura de los equipos utilizados por la compañía.....	30
2.3 Registros históricos de mantenimiento.....	31
2.3.1 Costos de Reparaciones de 2009.....	31
2.3.2 Recopilación de datos.....	31
2.3.3 Número de fallos reportados durante 2009.....	34
2.4 Análisis estadísticos de las fallas de los equipos de la compañía.....	36
2.4.1 Análisis Estadístico de fallas Compresores.....	36
2.4.2 Análisis Estadístico de fallas Plantas Eléctricas.....	40

2.4.3	Análisis Estadístico de fallas Máquina de soldar.....	43
2.5	Cálculo de los indicadores de confiabilidad.....	50
2.5.1	Indicadores de confiabilidad Compresor Sullair.....	50
2.5.2	Indicadores de confiabilidad Planta eléctrica Modasa.....	52
2.5.3	Indicadores de confiabilidad máquina de soldar Hobart.....	54
2.6	Cálculo de MTBF mediante Distribución de Weibull.....	57
2.6.1	Definición Distribución de Weibull.....	57
2.6.2	Pasos para calcular MTBF (Tiempo medio entre fallas) mediante distribución de Weibull.....	58
2.7	Diagnóstico de la confiabilidad de los equipos.....	66

CAPITULO 3.

DEARROLLO DE METODOLOGÍA FMECA Y RCA.....68

3.1	Desarrollo de FMECA.....	68
3.1.1	FMECA máquina de soldar.....	72
3.1.2	FMECA Compresor.....	78
3.1.3	FMECA Planta eléctrica.....	84
3.2	Caso RCA.....	88
3.3	Planes de acción para la mejora de la confiabilidad de los equipos.....	93
3.3.1	Acciones Generales.....	93
3.3.2	Acciones Encaminadas a mejorar la confiabilidad de las Máquinas de soldar.....	94
3.3.3	Acciones Encaminadas a mejorar la confiabilidad de los Compresores.....	95
3.3.4	Acciones Encaminadas a mejorar la confiabilidad de las Plantas Eléctricas.....	95
3.4	Descripción y evaluación del impacto de adoptar y perpetuar el uso de las metodologías RCA y FMECA en la empresa Inser Ltda.....	96
3.4.1	Beneficios.....	96
3.4.2	Impacto económico de la mejora de la disponibilidad.....	97
3.4.3	Costos del proyecto.....	99
3.5	Guía para la implementación del proyecto.....	100

CONCLUSIONES.....96

BIBLIOGRAFIA.....98

ANEXOS.....99

LISTA DE ANEXOS

	Pag.
Anexo 1. Cálculo de MTBF máquina de soldar Hobart mediante distribución de Weibull.....	99
Anexo 2. Cálculo de MTBF compresor Sullair mediante distribución de Weibull.....	103
Anexo 3. Cálculo de MTBF Planta eléctrica Modasa mediante distribución de Weibull.....	107
Anexo 4. Tabla de Weibull.....	111
Anexo 5. Programa de mantenimiento Máquina de soldar (actual).....	113
Anexo 6. Programa de mantenimiento Máquina de soldar (mejorado).....	115
Anexo 7. Lista de chequeo diaria Máquina de soldar.....	117
Anexo 8. Programa de mantenimiento Compresor (actual).....	110
Anexo 9. Programa de mantenimiento Compresor (mejorado).....	121
Anexo 10. Lista de chequeo diaria Compresor.....	123
Anexo 11. Programa de mantenimiento Planta eléctrica (actual).....	125
Anexo 12. Programa de mantenimiento Planta eléctrica (mejorado).....	127
Anexo 13. Lista de chequeo diaria Planta eléctrica.....	129
Anexo 14. Orden de Análisis de Causa Raíz.....	131
Anexo 15. Solicitud de mantenimiento.....	134

LISTA DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1. Estructura Organizacional.....	12
Figura 2. Mapa de procesos.....	20
Figura 3. Diagrama de torta costos de mantenimiento 2009.....	33
Figura 4. Diagrama de barra por frecuencia de mantenimiento 2009.....	35
Figura 5. Diagrama de barras por costo de reparación Compresores.....	38
Figura 6. Diagrama de barras N° de fallos compresor es.....	39
Figura 7. Diagrama de barras por costo de mantenimiento Planta Eléctrica.....	41
Figura 8. Diagrama de barras N° de fallos Planta Eléctrica.....	42
Figura 9. Diagrama de barras por costo de reparaciones Máquinas de soldar.....	46
Figura 10. Diagrama de barras N° de fallos Máquina de soldar.....	48
Figura 11. Curva de la bañera distribución de Weibull.....	64
Figura 12. Diagrama de barras RPN Máquina de soldar.....	77
Figura 13. Diagrama de barras RPN Compresor.....	83
Figura 14. Diagrama de barras RPN Planta Eléctrica.....	87
Figura 15. Diagrama de Árbol RCA.....	92
Figura 16. Disponibilidad Vs tiempo ocioso.....	98

LISTA DE TABLAS

	Pag.
Tabla N° 1. Distribución de frecuencia por costo de no confiabilidad durante 2009.....	32
Tabla N° 2. Distribución de frecuencia por N° de fallos durante 2009.....	34
Tabla N° 3. Informe de fallos 2009 compresor Sullair.....	36
Tabla N° 4. Informe de fallos 2009 compresor Ingersoll Rand.....	37
Tabla N° 5. Distribución de frecuencia por costo de reparación Compresor durante 2009.....	37
Tabla N° 6. Distribución de frecuencia por N° de fallos Compresor durante 2009.....	38
Tabla N° 7. Informe de fallos 2009 compresor Planta eléctrica Modasa.....	40
Tabla N° 8. Informe de fallos 2009 compresor Cummins.....	40
Tabla N° 9. Distribución de frecuencia por costo de reparación Planta eléctrica durante 2009.....	41
Tabla N° 10. Distribución de frecuencia por N° de fallos Planta eléctrica durante 2009.....	42
Tabla N° 11. Informe de fallos 2009 Máquina de soldar.....	43
Tabla N° 12. Distribución de frecuencia por costo de reparación Máquina de soldar durante 2009.....	45
Tabla N° 13. Distribución de frecuencia por N° de fallos Máquina de soldar durante 2009.....	47
Tabla N° 14. Matriz N° de fallos VS Costos de reparación.....	49
Tabla N° 15. Indicadores de confiabilidad Compresor Sullair.....	50
Tabla N° 16. Indicadores de confiabilidad Planta eléctrica Modasa.....	52
Tabla N° 17. Indicadores de confiabilidad Máquina de soldar Hobart.....	54
Tabla N° 18. Resumen Indicadores de confiabilidad.....	56
Tabla N° 19. Escala para determinar probabilidad de Ocurrencia.....	69
Tabla N° 20. Escala para determinar probabilidad de Severidad.....	70
Tabla N° 21. Escala para determinar probabilidad de Detección.....	71
Tabla N° 22. Distribución de frecuencia RPN Máquina de Soldar.....	76

Tabla N°23 Distribución de frecuencia RPN Compresor.....	82
Tabla N°24. Distribución de frecuencia RPN Planta eléctrica.....	86
Tabla N°25. Acciones Generales	76
Tabla N° 26. Acciones Encaminadas a mejorar la confiabilidad de las máquinas de soldar.....	82
Tabla N° 27. Acciones Encaminadas a mejorar la confiabilidad de los Compresor.....	89
Tabla N° 28. Acciones Encaminadas a mejorar la confiabilidad de las Plantas Eléctricas.....	93
Tabla N°29. Porcentaje de disponibilidad VS costos de tiempo ocioso	97
Tabla N°30. Costos asociados al proyecto.....	99

INTRODUCCIÓN

Los procesos productivos requieren de un adecuado manejo de sus elementos que los integran. Estos elementos que interactúan entre sí para dar como resultado un producto o servicio llevan inherente a su operación, un margen o probabilidad de error. Es aquí donde surge la variable confiabilidad, que no es más que la probabilidad de que los equipos o los sistemas o los procesos o los trabajadores desarrollen satisfactoriamente la función requerida, sin fallar, cuando son operados o dirigidos correctamente en un intervalo de tiempo, bajo unas condiciones establecidas.

La confiabilidad es la variable de estudio y el centro de esta investigación. La confiabilidad operacional está integrada por tres tipos de confiabilidad como son: Confiabilidad de procesos, Confiabilidad de equipos y confiabilidad Humana; la interacción de cada una de ellas abre paso hacia un nuevo concepto que es Mantenimiento Centrado en la confiabilidad.

Muchas instalaciones han experimentado fallas de equipos que podrían haber sido prevenidas. El foco de un Mantenimiento centrado en la confiabilidad es la revisión estructurada de cómo fallan los componentes y la determinación de cómo pueden ser usadas las medidas preventivas para minimizar el potencial de fallas.

Un Mantenimiento centrado en la confiabilidad es una técnica para revisar las fallas de los equipos y determinar acciones correctivas o preventivas. Uno de los enfoques primarios de un Mantenimiento Centrado en Confiabilidad es el desarrollo de nuevas actividades de mantenimiento preventivo. El valor real de un mantenimiento centrado en la confiabilidad es la revisión estructurada de las fallas de los equipos, procesos o de las personas.

Hoy en día existen muchas tecnologías blanda que son fundamentales para que una Gestión de confiabilidad sea exitosa. Básicamente en esta investigación se centra en dos herramientas fundamentales para la Gestión como son el FMECA y el Análisis de Causa Raíz o RCA para lograr convertir la Gestión de mantenimiento actual de la empresa en una Gestión de Mantenimiento centrado en la confiabilidad.

Al aplicar estas herramientas de Gestión se obtendría como resultado un plan de acción detallado que establece parámetros a nivel operativo y estratégico que al articularse traería consigo un sin número de beneficios a la empresa.

El presente trabajo tiene como objeto de estudio el comportamiento de la variable confiabilidad en los equipo o maquinas críticas de la empresa Inser Ltda y de cómo mediante acciones generadas a partir del desarrollo de metodologías como el FMECA (análisis modal de Fallas y efectos) y RCA (análisis causa raíz) poder incrementar la disponibilidad de los equipos para el beneficio económico y operativo de la empresa de la Compañía.

De acuerdo con el planteamiento anterior, el contexto de este trabajo se ha organizado en tres capítulos:

En el primer Capítulo de esta investigación se trata sobre aspectos generales de la empresa; se hace una descripción de la infraestructura física de la misma y de cómo se ha venido fortaleciendo a lo largo de los años. También en este capítulo se presenta un análisis DOFA con el fin de conocer cuáles son los Objetivos Estratégicos de la Empresa para asegurar que estos estén alineados con los objetivos del proyecto.

En el segundo capítulo contiene el diagnóstico de la Gestión de mantenimiento actual de la empresa con base en datos suministrados por el Proceso de Mantenimiento en la Compañía, para evidenciar que la Empresa efectivamente requiere mejorar la confiabilidad de sus equipos dado las consecuencias económicas ha venido afrontando. En este capítulo se identificaron mediante técnicas estadísticas los equipos de mayor criticidad y de allí se elaboraron los indicadores de confiabilidad que permitieron realizar el diagnóstico de manera objetiva.

En el tercer capítulo de esta investigación contiene el desarrollo de las metodologías FMECA y RCA con los cuales se facilitó la labor de establecer acciones tendientes a maximizar la variable confiabilidad de los equipos. Además de ello se realizó una descripción de los costos y beneficio del proyecto y de cómo podría impactar en la empresa la aplicación de las acciones aquí planteadas.

El valor agregado que esta investigación aporta a la Empresa los constituyen el diagnóstico de la confiabilidad de los equipos de la empresa, el cálculo de los índices de confiabilidad de los equipos crítico, la elaboración de planes de acción encaminados a mejora la disponibilidad de los equipos y una guía para la implementación de este proyecto en la empresa.

OBJETIVOS DEL PROYECTO

Objetivo General

Establecer acciones para mejorar la confiabilidad de los equipos críticos mediante el uso de la metodología del RCA y FMECA con miras a optimizar los programas de mantenimiento y maximizar la disponibilidad de los mismos.

Objetivos específicos

1. Describir cómo ha sido la evolución de la empresa Inser Ltda y como ha venido fortaleciendo su infraestructura física desde su origen, para comprender como ha sido su posicionamiento en el mercado y su proyección en el mismo.
2. Elaborar un diagnostico de los equipos mediante técnicas estadísticas para identificar las mejores oportunidades de mejoramiento en ellos y evaluar su criticidad con desde el punto de vista estratégico y operativo.
3. Identificar los modos de fallos dominantes, calcular los tiempos medios entre fallas, y desarrollar la metodología FMECA para los equipos de mayor criticidad, para general las acciones de mantenimiento de tipo previsorio, preventivo, de detección temprana o de contingencia requeridos para aumentar su disponibilidad y mejorar su confiabilidad.
4. Desarrollar la metodología del árbol de fallas para un caso en particular de falla de mayor impacto negativo sobre la operación.
5. Describir y evaluar el impacto de adoptar y perpetuar el uso de las metodologías RCA y FMECA en la empresa Inser Ltda.
6. Elaboración de un guía para la implementación del proyecto en Inser Ltda.

1. CONTEXTO ESTRATEGICO DE LA EMRESA INSER LTDA

El propósito de este capítulo es describir cómo ha sido la evolución de la empresa Inser Ltda., incluyendo aspectos de su direccionamiento estratégico y conocer como ha venido fortaleciendo su infraestructura física desde su origen, para comprender como ha sido su posicionamiento en el mercado y su proyección en el mismo.

1.1 Reseña histórica de la empresa Inser LTDA

La firma Inser Ltda. nació por iniciativa del Señor Robinson Rosales. En sus inicios tenía una infraestructura física muy limitada y realizaba trabajos de soldadura y oxígeno de pequeña escala para la firma Dinalco S.A.

Su infraestructura física operativamente hablando solo incluía 2 equipos de soldadura manual, 5 equipos de oxígeno y varias herramientas menores para ejecutar los trabajos (taladros, pulidoras, etc).

Con el transcurrir del tiempo y la empresa Inser fue consolidando su imagen como uno de los mejores contratistas de la firma Dinalco S.A. También a través de procesos de licitaciones, se fue abriendo mercado en otras empresas del sector como Cotecmar Bocagrande, Atunes de Colombia, Cerrejón y en sector público con la Alcaldía de Cartagena y la Alcaldía de Mahates. Gracias, a las experiencias que se ha venido adquiriendo a través de las obras ejecutadas se ha implementado un mejoramiento continuo que le ha permitido posicionarse en el mercado.

En el año de 1995, el señor Robinson Rosales (Ing. Mecánico, Propietario de Inser Ltda) en asoció con el señor Julian Acevedo (Ing. Civil, propietario de la firma

Quintana y Acevedo) fusionan sus Compañías respectivas y adquiere un predio en el barrio los Alpes de aproximadamente 1500 m2 que es donde actualmente la empresa tiene instalado sus oficinas administrativas y el Taller de Reparaciones. Esta alianza se dio paso para que Inser Ltda. además de ejecutar trabajos de metalmecánica también se abriera espacio en el campo de las obras civiles.

A medida de que la empresa se iba capitalizando con las utilidades generadas por las obras ejecutadas, se ha venido invirtiendo en la adquisición más equipos lo que le ha permitido mayor capacidad de producción y aumentar cobertura de frentes de trabajo. ¹

1.1.1 Recursos Activos Físicos

Algunos de los activos más importantes con que cuenta la firma para el servicio de Construcción en el año 2010, reparación de estructuras metálicas son los ²siguientes:

➤ Equipos de soldadura

Tipo de soldadura	Marca	Modelo	Características	Cantidad
Revestida	Hobart	R – 440	220/440 v Trifásic	12
Revestida	Lincoln	RX 520	220/440 v Trifásica	9
Revestida	Lincoln	250	220 Monofásica	6
Multiprocesos	Lincoln	DC 600	220/440 v Trifásica	6
Multiprocesos	Thermal	Master Power	220/440 v Trifásica	4

¹ Fuente: Inser Ltda. Manual de calidad. Pag 8-9

² Fuente: Inventario Activos Inser

➤ **Equipos de mecanizado**

EQUIPO	MARCA	MODELO
Torno	Bilcia 25	1994
Torno	Loudge & shipley	1998
Torno	Jumbo t 04	2001
Taladro fresador	Inmodrill	DM 70 – 40
Taladro de pedestal	Rexon	JCV 145
Fresadora	Jarrocin	FWD 32 JM
Rectificadora	Harring	168
Roladora	Fabstar	HD 25
Plegadora	Fabstar	OH 123

➤ **Equipos de levantamiento de carga**

EQUIPO	MARCA	CAPACIDAD
Camión grúa	CHEVROLET	<i>GRUA 3 TON</i>
Grúa	TEREX	20 TON
Montacargas convencional	TOYOTA	5 TON
Montacargas telescópico	TEREX	7 TON

➤ **Equipos de movimiento de tierras**

EQUIPO	MARCA
Retroexcavadora	JBC
Retroexcavadora	CATERPILLAR
Vibro compactador	JBC
Moto niveladora	JBC
Mini cargador	BOBCAT

➤ **Equipos eléctricos**

EQUIPO	MARCA	MODELO
Compresor	INGERSOLL RAND	P 250
Compresor	SULLAIR	1999
Planta eléctrica	MODASA	2008
Planta eléctrica	CUMMINS	ML 70

El fortalecimiento de su infraestructura ha sido gradual a través de tiempo en tanto que ha su vez la empresa se ha consolidado su imagen en diferentes sectores:

- A nivel Local: empresas como Cotecmar, Malteria Tropical, Tenaris - Tubo Caribe, Seatech, Ferroalquimar.
- A nivel Regional: Cerrejon

- A nivel Internacional: Empresas Navieras como International Shipping and Trade, Gremex.³

Le empresa en el 2008 siguiendo un direccionamiento estratégico de apalancamiento y de ampliación de portafolio de servicios, adquiere equipos de levantamiento de carga y de movimiento de tierras como son:

- ✓ Grúa de 20 ton
- ✓ Camión grúa
- ✓ Montacargas Telescópico,
- ✓ Montacargas de 3 ton
- ✓ Vibro compactador
- ✓ Retroexcavadoras
- ✓ Moto niveladora
- ✓ Compresores

La finalidad de la adquisición de estos equipos es abrir una nueva línea de servicios de “Alquiler de maquinaria pesada” que además de generar ingresos a la Compañía, también servirá como equipos de apoyo a la realización de las obras propias de la empresa.

En el año 2010 siguiendo el mismo direccionamiento estratégico de apalancamiento y ampliación de portafolio de servicios, ya se han adquirido equipos de mecanizado como son:

- ✓ Tornos
- ✓ Fresadoras
- ✓ Taladros radiales

³ Fuente: Inser Ltda. Base de datos de cliente

- ✓ Cizalla
- ✓ Plegadora
- ✓ Roladora

Normalmente las operaciones de mecanizado como tornado, fresado, rolado doblado ect, que anteriormente eran subcontratadas, hoy en día se realizan internamente. Estos equipos de mecanizado no solamente han eliminado la subcontratación sino que además representa un menor tiempo de respuesta para los clientes y una nueva opción de ingresos para la Empresa.

Actualmente la firma Inser Ltda tiene proyectado consolidar sus nuevos servicios en el mercado de la metalmecánica y la construcción en general.

1.1.2 Recursos Humanos

Una de las fortalezas de la empresa es contar con un Recurso humano calificado para la ejecución de las obras. La estructura organizacional de la empresa esta dividida en dos tipos de cargos, que son los administrativos y los operativos.

Los Cargos Administrativos los conforman Gerente General, Subgerente, Gerente Financiero, Directores de proyecto, Jefe de Recursos Humanos, Jefe de Compras, Jefe de Mantenimiento, Coordinador de SGC.

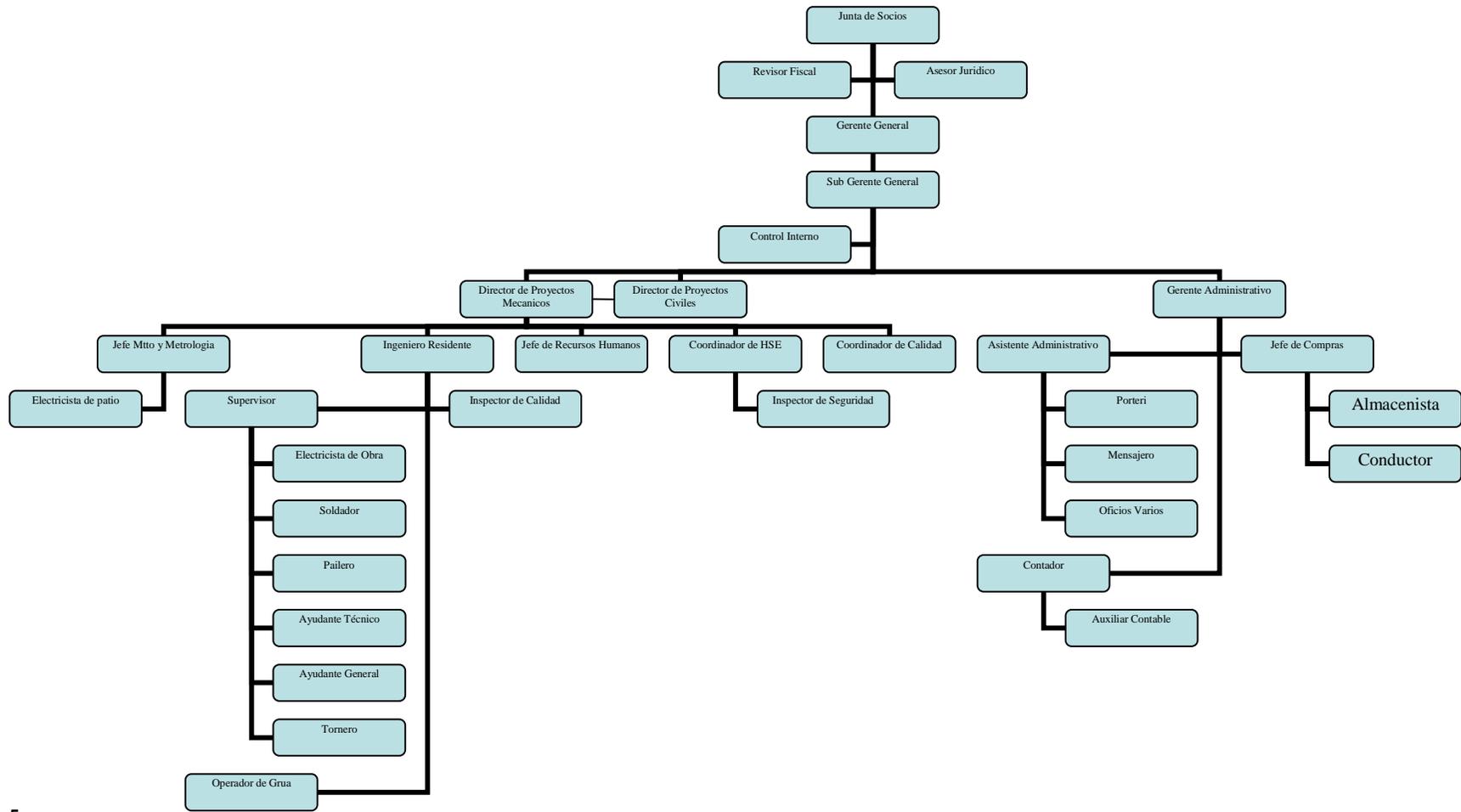
Los Cargos operativos conformados en su orden de jerarquía por: Ing. Residentes, supervisores, Soldadores. Paileros y ayudantes. Para los cargos operativos se utiliza un tipo de contratación por duración de la obra ejecutada y la cantidad de personal contratado depende de la magnitud de la misma. (Ver figura N° 1. Estructura Organizacional)

A lo largo de los últimos años, Departamento de Recursos Humanos se ha esforzado someter a los trabajadores en un proceso de capacitaciones continuas en puntos que son estratégicos para la Compañía como son: Seguridad Industrial, Calidad, Desarrollo personal.

La capacitación de los trabajadores también abarca las buenas prácticas en el uso de la Herramientas comunes. ⁴

⁴ Fuente: Inser Ltda. Manual de Calidad. Pág. 12

Figura N° 1. Estructura Organizacional



5

⁵ Fuente: Inser Ltda. Manual de Calidad. Pág. 13

1.1.3 RECURSOS FINANCIEROS

Inser Ltda. Es una firma de Ingenieros Contratistas cuyos recursos financieros lo constituyen las utilidades generadas por cada proyecto; es decir que desde el punto de vista financiero una de las directrices estratégicas de la firma es la maximización de las utilidades por cada obra o proyecto y la reducción del gasto operativo del mismo.

Comercialmente La participación y adjudicación de las distintas licitaciones en los sectores de la metalmecánica y civiles son las fuentes de ingresos, físicamente estos ingresos se encuentran reflejados en los estados financieros del año 2009 periodo del cual se suministran los datos para el estudio.

En el análisis se muestran indicadores de liquidez y solvencia, indicadores de actividad e indicadores de endeudamiento.

En cuanto a la liquidez de INSER LTDA nos muestra que su razón corriente denominada por la siguiente formula

$$\text{Razon corriente} = \frac{\text{Activo corriente}}{\text{Pasivo corriente}}$$

La empresa por cada peso que debe en el corto plazo cuenta con 1.365654695 para respaldar esa deuda , se entiende en el corto plazo deudas menores a una año por ejemplo como créditos por arrendamientos en las operaciones que por lo general se hacen de contado o en una periodo máximo de 45 días. De cada peso que tenemos pagamos el 73.22% para las deudas en el corto plazo y el 26.78 queda para la empresa.

CAPITAL DE TRABAJO.

$$\text{Capital de Trabajo} = \text{Activo corriente} - \text{Pasivo corriente}$$

Arroja un resultado de \$ 719, 955,295.00 este es el dinero con que cuenta la empresa para producir y generarlas ganancias es decir es el llamado presupuesto den el periodo de trabajo, con la salvedad de que se hallan pagado todos los pasivos en el corto plazo la empresa contaría con este dinero para atender su curso normal de producción.

$$\text{Prueba Acida} = \frac{\text{Activo corriente} - \text{Inventarios}}{\text{Pasivo corriente}}$$

Este indicador nos muestra mayor severidad al momento de pagar las deudas en el corto plazo sin tener que vender los inventarios que ya se tienen por lo siguiente si en un determinado tiempo la empresa es obligada a pagar sus pasivos de corto plazo sin tener que liquidar sus inventarios nos muestra que solo contaría con 1.229864758 es decir para respaldar la deuda sin vender inventario contaría con el resultado mencionado anteriormente la empresa destinaría el 81.30% a la deuda en el corto plazo y contaría con 18.69% podemos decir y afirmar que la empresa Inser Ltda. no depende de los inventarios para pagar sus obligaciones.

NIVEL DE ENDEUDAMIENTO

$$\text{Nivel .de endeudamiento} = \frac{\text{Total Pasivo}}{\text{Total Activo}} \times 100\%$$

En esta razón el resultado fue de 48.69% es decir la participación de los acreedores en la empresa es de 48.69% es muy riesgoso tener ese nivel ya que la caída de los mercados o una eventual crisis prácticamente los acreedores absorben la empresa.

INDICADORES DE ENDEUDAMIENTO

$$\text{Nivel .de Endeudamiento} = \frac{\text{Total Pasivo}}{\text{Total Patrimonio}} = 0.95$$

$$\text{Concentracion a corto plazo} = \frac{\text{Pasivo corriente}}{\text{Total Pasivo}} \times 100\% = 78.64\%$$

$$\text{Concentracion a Largo plazo} = \frac{\text{Pasivo No corriente}}{\text{Total Pasivo}} \times 100\% = 21.36\%$$

En estos indicadores nos muestran como esta estructurado los niveles de endeudamiento de INSER LTDA ya sea en largo o corto plazo nos muestra que la financiación para conseguir los activos se hizo de manera muy equilibrada es decir que casi en partes iguales se tienen los activos que posee INSER LTDA, en consecuencia el patrimonio de la empresa esta seriamente comprometido para pagar las deudas en el nivel de endeudamiento es casi equilibrada la razón entre pasivo y patrimonio por lo que están obligados a trabajar fuertemente para pagar los pasivos, por otra parte la empresa concentra su mayor endeudamiento en el corto plazo por lo que no puede caerse en la operación y tener reservas para los momentos de crisis.

INDICADORES DE ACTIVIDAD.

$$\text{N de días cartera a mano} = \frac{\text{Cuentas por cobrar brutas} \times 360}{\text{Ventas netas}} = 54.35$$

$$\text{Rotacion de Cartera} = \frac{360}{\text{N. días de Cartera a Mano}} = 6.62$$

$$\text{N de días Inventario a mano} = \frac{\text{Valor del Inventario} \times 360}{\text{Costo de Mercancía vendida}} = 8.41$$

$$\text{Rotacion de Inventarios} = \frac{360}{\text{N. días de Inventario a Mano}} = 42.8$$

$$\text{R. Capital de Trabajo} = \frac{\text{Ventas netas}}{\text{Activo Corriente} - \text{Pasivo corriente}} = 17.96$$

Los indicadores de actividad muestran la disponibilidad de dinero con que se cuenta en determinado tiempo y cuanto duran en rotar los inventarios hasta convertirse en dinero físico para la empresa la rotación de la cartera dura 54 días aproximadamente es decir que las ventas por cobrar en convertirse en dinero duran 54 días aproximadamente lo y en el año se convirtieron en efectivo o en disponible en 6.62 veces en el.

Por otra parte los inventarios en la empresa tienen una duración de 8.41 días para ese periodo del año por lo que habría que compara los tiempos de salida y verificar si hay tardanza o por el contrario hay tiempo ocioso del inventario hasta que sale del sistema por otro lado en el año el inventario se repone cada 8 días y tiene una rotación anual de 42.8 veces y por último la rotación del capital de trabajo rota en 17.96 veces por lo que en este numero la empresa cancelo todas sus deudas en el corto plazo en este mismo número de veces sin embargo descrito en los anteriores indicadores INSER LTDA siempre contó con una disponibilidad.

ANALISIS VERTICAL DEL ESTADO DE RESULTADOS.

LOS MARGENES DE RENTABILIDAD SON LOS SIGUIENTES:

MARGEN OPERACIONAL: 5.37%

MARGEN ANTES DE IMPUESTOS : 2.70%

MARGEN BRUTO: 11.47%

Se considera que los márgenes están muy bajos por lo que la mayor concentración se encuentra en el costo de venta, así mismo el costo de venta es muy alto este representa un 88.53% de las ventas totales por lo que se tiene que evaluar los materiales y el proceso de adquisición de los recursos para la ejecución de los recursos para ejecutar los proyectos, dentro de las cuentas del costo de ventas se refleja la mayor concentración en mano de obra con un 28.27% y la parte de subcontratos de mano de obra está representado en un 15.28%.

En síntesis la importancia de este análisis nos muestra que Inser Ltda. Es una empresa sólida y grande en cuanto al manejo de cifras de dinero a pesar de que los márgenes de rentabilidad se muestran bastante pequeños las cifras que maneja la compañía en cuanto a sus utilidades son bastante atractivas lo que garantiza disponibilidad financiera y respaldo respecto al evento de que el proyecto sea aceptado. ³⁰

1.2 MISION

La misión de Inser Ltda (Ingeniería y Servicios) es contratar, ejecutar y entregar trabajos de metalmecánica en general (sector naval, sector minero, sector industrial) y de obras civiles en general que satisfagan las necesidades y requisitos de nuestros clientes. ³¹

³⁰ Fuente: Estados financieros 2009

³¹ Fuente: Inser Ltda. Manual de Calidad. Pág. 4

1.3 VISION AL 2012

Inser Ltda. (Ingeniería y servicios) tiene como visión proyectada para el 2012, ser reconocida como la mejor y mas grande empresa de ingenieros contratistas en el campo de la metalmecánica en el sector naval abarcando el mercado nacional e internacional y posicionarnos como una de las mejores opciones regionales en la metalmecánica del sector minero y obras de ingeniería civil. ³²

1.4 POLITICA INTEGRAL

INSER LTDA. (Ingenieria y Servicios) es una empresa de ingenieros contratistas mecánicos y civiles, creada con el firme propósito de satisfacer al cliente en sus necesidades de mantenimiento, reparación y construcción en las áreas de metalmecánica en general y obras civiles. Para el buen desarrollo de las actividades la compañía busca preservar la salud y seguridad de los empleados y demás partes interesadas y mitigar los impactos socio-ambientales inherentes a la ejecución de las labores.

Para cumplir con este propósito la organización tiene establecida las siguientes directrices:

- ✓ Contar con personal altamente calificado
- ✓ Disponer de equipos, herramientas, materiales e insumos de optima calidad
- ✓ Ejecutar los trabajos contratados en los tiempos de entrega establecidos por el clientes

³² Fuente: Inser Ltda. Manual de Calidad. Pág. 5

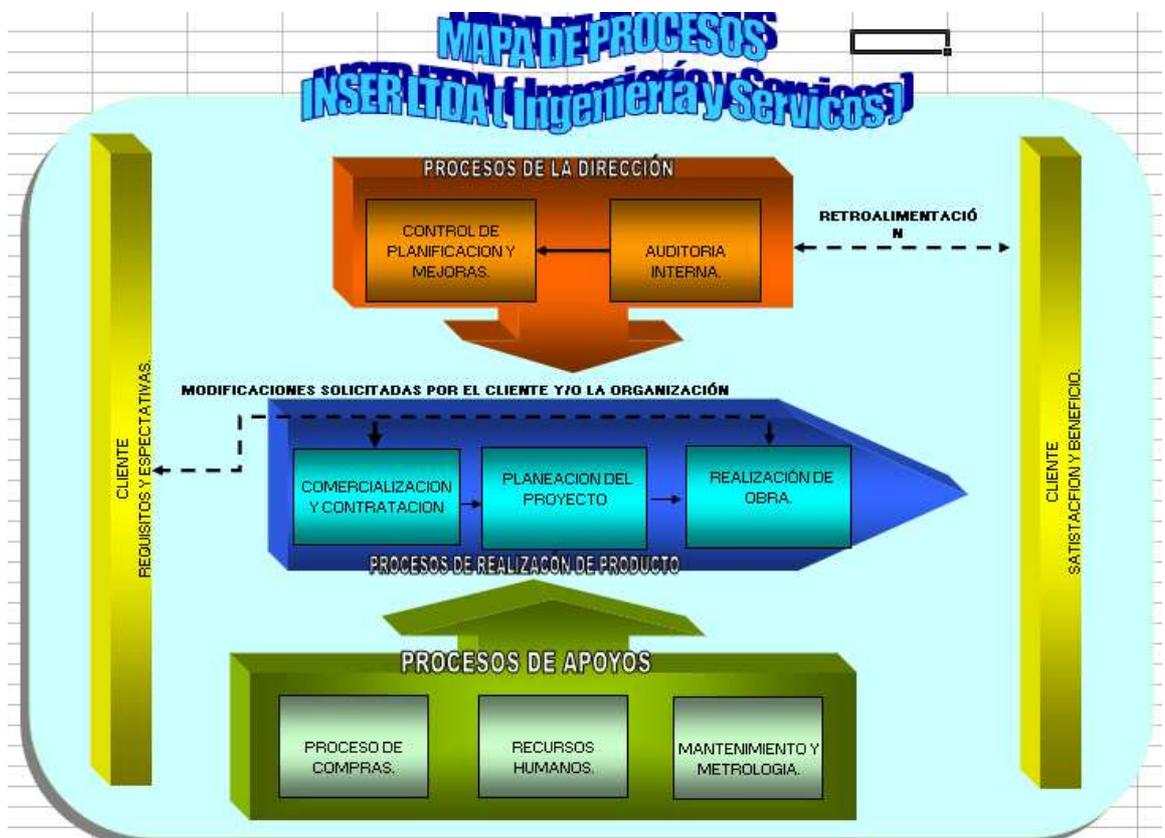
- ✓ Identificar y controlar los riesgos contra la salud y seguridad de los empleados y el medio ambiente
- ✓ Respetar y acatar la normatividad sobre Seguridad Industrial, Salud Ocupacional y Medio Ambiente que el estado Colombiano a dictado y los requisitos en los cuales la organización se ha suscrito aplicables a su gestión.
- ✓ Proteger a los bienes de la organización.
- ✓ Desarrollar mecanismos de comunicación con los empleados y demás partes interesadas para mayor garantía en la preservación de la salud, seguridad, calidad y medio ambiente

La gerencia respalda los recursos necesarios para implementar, mantener y mejorar continuamente el desempeño de su gestión en calidad, seguridad y salud ocupacional y medio ambiente. ³³

³³ Fuente: Inser Ltda. Manual de Calidad. Pág. 6

1.5 MAPA DE PROCESOS

Figura N° 2. Mapa de procesos



34

³⁴ Fuente: Inger Ltda. Manual de Calidad. Pág. 8

1.6 ANALISIS DOFA

La empresa Inser Ltda. para dar cumplimiento a lo establecido por sus Sistema de Gestion de Calidad, anualmente realiza Revisiones por la Dirección donde se incluye un Análisis del Entorno interno de la empresa (identificación de fortalezas y debilidades) y un análisis de entorno externo de la misma (identificación de oportunidades y amenazas). Esa información es utilizada como dato de entrada para realizar sus Objetivos y Estrategias Corporativas. El resultado de la identificación de Amenazar, Oportunidades, fortalezas y debilidades en el año 2009 fué el siguiente: ³⁵

Amenazas

- ✓ Reestructuración de la empresa International Shipping and Trade (uno de los principales clientes) reduce el numero de Barcos que llegan a Cartagena de este cliente. ³⁶
- ✓ Crisis Económica mundial afecta la rentabilidad de los clientes y esto a su vez hace que los barco reduzcan su presupuesto para la reparación naval
- ✓ Situación de Orden Público en Colombia no es favorable para la empresa dado que los clientes potenciales sienten temor de traer sus barcos a Colombia.
- ✓ La naturaleza de las obras ejecutadas representan alto nivel de riesgos ya que la empresa esta catalogada en el máximo nivel de riesgos según la ARP. ³⁷

³⁵ Fuente: Revisión por Dirección 2009

³⁶ Fuente: Índice de Proyectos por tipo de cliente

³⁷ Fuente: Registro de Afiliación ARP

OPORTUNIDADES

- ✓ Fluctuación de dólar, afecta positivamente cuando esta divisa se reevalúa frente al peso ya que el contrato con el cliente se pacta en dólares.
- ✓ Política de Seguridad Democrática crea confianza inversionista
- ✓ Ampliación y Reestructuración del Astillero Ferroalquimar, lo convierte en un cliente potencial.³⁸

FORTALEZAS

- ✓ Apoyo de la gerencia en la implementación de los sistemas de gestión de Calidad, Salud Ocupacional y Ambiental
- ✓ La empresa esta encuentra en proceso de implementación OSHAS 18000.
- ✓ Amplio Portafolio de servicios (Reparación naval, construcciones metalmecánica, obras civiles)³⁹
- ✓ Posee un Sistema de Calidad Certificado.
- ✓ En el servicio de Reparación naval, la empresa cuenta con clientes internacionales (Gremex, ISAT) que contratan directamente con la empresa sin intermediación de astilleros para.⁴⁰
- ✓ Amplia gama de clientes a nivel local, regional, e internacional.⁴¹
- ✓ Inversión en nuevas tecnologías (esto se demuestra mediante la adquisición de los equipos de mecanizado, levantamiento de carga y movimiento de tierras)⁴²

³⁸ Fuente: Construcción de Pasarela para Travellift, proyecto ejecutado por INSER, Dic 2009

³⁹ Fuente: Brochure de Servicios

⁴⁰ Fuente: Base de datos clientes

⁴¹ Fuente: Base de datos clientes

⁴² Fuente: Brochure de Servicios

- ✓ Alta experiencia en ejecución de proyectos (La empresa Acredita mas de 19 años en el sector de la metalmecánica y civil).
- ✓ Calidad y cumplimiento⁴³

DEBILIDADES

- ✓ Utilización no eficiente de algunos recursos como por ejemplo la soldadura y laminas. ⁴⁴
- ✓ Reprocesos de las obras. ⁴⁵
- ✓ Alto incide de accidentalidad⁴⁶.

Además de las variables ya identificadas, durante la ejecución del proyecto se pudieron identificar algunas otras como se muestra a continuación:

Debilidades

- ✓ Altos costos de mantenimientos Correctivos. ⁴⁷
- ✓ Falta de confiabilidad de algunos equipos Críticos.
- ✓ Falta de cultura de prevención de fallas

1.7 OBJETIVOS ESTRATÉGIAS CORPORATIVAS

Los Objetivos y Estrategias Corporativas de la Empresa son elaborados y /o actualizados anualmente durante la etapa de Revisión por la Dirección. En ella se

⁴³ Fuente: Índice de satisfacción de clientes

⁴⁴ Fuente: Índice de desfase de presupuesto

⁴⁵ Fuente: Registro de reproceso

⁴⁶ Fuente: Índice de Accidentalidad de la empresa

⁴⁷ Fuente: Facturas de mantenimiento 2009

establece el marco de referencia para los procesos que conforman los Sistemas de Gestión.⁴⁸

1.7.1 Objetivos Estratégicos

- ✓ Crear programas de capacitación al personal en Seguridad industrial, Calidad y desarrollo personal
- ✓ Consolidar el taller de mecanizado.
- ✓ Consolidar el servicio de alquiler de equipos de levantamiento de carga y movimiento de tierras
- ✓ Implementar, mantener y mejorar los Sistemas de Gestión de Calidad y Salud Ocupacional como propuesta de valor para el cliente.
- ✓ Cumplir con los tiempos pactados de entrega de la obras con los cliente con los estándares de Calidad Establecidos.

1.7.2 Estrategias Corporativas

- ✓ Maximizar las utilidades y la calidad de sus proyectos.
- ✓ Obtener el mayor número de licitaciones adjudicadas de trabajos de metalmecánica y de obras civiles

⁴⁸ Fuente: Revisión por dirección 2009

- ✓ Aumentar el portafolio de servicios con el taller de mecanizado y el alquiler de equipos de levantamiento de carga y movimiento de tierras
- ✓ Maximizar el nivel de competencias de todo el personal integrante de la empresa

1.8 OBJETIVOS ESTRATÉGIAS CORPORATIVAS INCORPORADOS POR EL PROYECTO

El presente trabajo de investigación se realizó un aporte a los Objetivos y Estrategias Corporativas para contribuir a fortalecer la el proceso de Planeación Estratégica de Inser Ltda. A continuación se muestran cuales fueron los Objetivos y estrategias corporativas que se deben incorporar al proceso.

1.8.1 Objetivos Estratégicos incorporados por el proyecto

- ✓ Mantener y mejorar la confiabilidad de la infraestructura productiva existente a través del fortalecimiento de los estándares y programas de mantenimientos.
- ✓ Capacitar al personal en la aplicación de tecnologías blandas como FMECA y RCA.

1.8.2 Estrategias Corporativas incorporadas por el proyecto

- ✓ Reducir el gasto operacional mediante la minimización de los mantenimientos correctivos.
- ✓ Aplicación de acciones preventivas y correctivas eficaces para el proceso de mantenimiento.

2. ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO ACTUAL DE LA GESTIÓN DE CONFIABILIDAD DE LOS EQUIPOS CRÍTICOS DE LA EMPRESA INSER LTDA

El propósito de este capítulo es conocer el diagnóstico actual de la gestión de la confiabilidad de equipos de la compañía INFER LTDA mediante el uso de técnicas estadísticas para determinar su impacto sobre la gestión general de su negocio.

2.1 Estructura de los equipos utilizados por la compañía

Los equipos que conforman la infraestructura física de Inser Ltda. Se describen a continuación; sin embargo para el estudio de este proyecto se excluyen los equipos adquiridos en el 2010 para adecuación de taller de mecanizado ya que no se tienen datos históricos de mantenimiento, ni tampoco los equipos de levantamiento de carga y movimiento de tierras, adquiridos en el 2008 – 2009 para servicio de alquiler ya que no se obtuvo información completa acerca de los costos de mantenimiento de los mismos.

✓ EQUIPOS DE SOLDADURA

Ítem	Tipo de soldadura	Marca	Modelo	Características	Cantidad
1	Revestida	Hobart	R – 440	220/440 v Trifásica	12
2	Revestida	Lincoln	RX 520	220/440 v Trifásica	9
3	Revestida	Lincoln	250	220 Monofásica	6
4	Multiprocesos	Lincoln	DC 600	220/440 v Trifásica	6
5	Multiprocesos	Thermal	Master Power	220/440 v Trifásica	4

✓ EQUIPOS ELECTRICOS

Ítem	Tipo	Marca	Modelo	Características	Cantidad
1	Planta eléctrica	Modasa	S7	90 KVA	1
2	Planta eléctrica	Cummins	6CTAA8.3G3	190 KVA	1
3	Compresor	Ingersoll Rand	P250WJD	250 CFM	1
4	Compresor	Sullair	1999	100 CFM	1

✓ EQUIPOS DE CORTE

Ítem	Tipo	Marca	Modelo	Cantidad
1	Equipo de Oxicorte	Víctor	T plus	77
2	Equipo de Oxicorte	Metal power	VCM	26
3	Equipo de corte de plasma	Esab	PT 7	2

✓ EQUIPOS DE MECANIZADO

Ítem	Tipo	Marca	Modelo	Características	Cantidad
1	Torno	Inmotool	cs6266B	800 mm de volteo, distancia entre puntos 2800 mm	1
2	Taladro Fresador	Inmodrill	DM 70 - 40	1 ¼ Capacidad de agarre de mandril	1
3	Taladro de pedestal	Rexon	R 700	5/8 Capacidad de agarre de mandril	1
4	Sierra de corte	Logan	BS 1018B	Capacidad de corte hasta de 8 " de diam.	1

✓ **EQUIPOS DE LEVANTAMIENTO DE CARGA**

Ítem	Tipo	Marca	Modelo	Características	Cantidad
1	Montacargas	Toyota	62-7FD25	2 ton	1

✓ **HERRAMIENTAS MENORES**

Ítem	Tipo	Marca	Cantidad
1	Diferenciales de 1 ton	Daesan	8
2	Diferenciales de 3 ton	Daesan	5
3	Diferenciales de 5 ton	Daesan	4
4	Pulidoras Grandes	Dewalt	7
5	Pulidoras Grandes	Bosch	10
6	Pulidoras pequeñas	Dewalt	4
7	Pulidoras pequeñas	Bosch	6
8	Taladros manuales	Dewalt	4

✓ **EQUIPOS DE LEVANTAMIENTO DE CARGA Y MOVIMIENTO DE TIERRAS, ADQUIRIDOS EN EL 2008 – 2009 PARA SERVICIO DE ALQUILER**

Ítem	Tipo	Marca	Cantidad
1	Grúa 20 ton	Terex	1
2	Camión Grúa 3 ton	Chevrolet	1
3	Montacargas telescópico 10 ton	Terex	1
4	Mini Cargador	Bobcat	1
5	Retro escaladora	JBC	2
6	Moto niveladora	JBC	1
7	Vibro compactado	Vibromax	1

✓ EQUIPOS ADQUIRIDOS EN EL 2010 PARA ADECUACION DE TALLER DE MECANIZADO

Ítem	Tipo	Marca	Características	Cantidad
1	Torno	Louge and Shippley	680 mm de volteo/ 2400mm entre puntos	1
2	Torno	Bilcia	640 mm de volteo/ 2000mm entre puntos	1
3	Fresadora	Jarrocin	Piñones Rectos y Piñones Helicoidales	1
4	Cizalla	WKT	Capacidad de corte 2500mm x 12.7 mm	1
5	Plegadora	WKT	Capacidad de plegado 3200 mm x 12.7 mm	1
6	Roladora	WKT	Capacidad de rolado 2500 mm x 12.7 mm	1

2.2 Descripción de la Gestión de Mantenimiento actual

En la Actualidad el proceso de mantenimiento se maneja de la siguiente manera:

Mantenimientos Correctivos: Al ocurrir una falla se registra este evento en un formato llamado Solicitud de Mantenimiento, luego se coordina las actividades de mantenimiento con personal interno de la empresa, si el tipo de mantenimiento no puede ser ejecutado por el personal interno de la Firma, entonces el Jefe de mantenimiento coordina con los posible proveedores. Los trabajos realizados son registrados en la hoja de vida del equipo. No se realiza un análisis de causas profundo del origen de las falla, tampoco se manejan índices de confiabilidad.

Mantenimiento preventivo. Las rutinas de mantenimientos preventivos son realizados periódicamente según lo establece el programa. Las actividades de mantenimiento siempre han sido las mismas y han permanecido estáticas a lo largo de los 3 últimos años.

Una Gestión de Mantenimiento Centrada en confiabilidad tiene por objetivo desarrollar nuevas actividades de mantenimiento y su verdadero valor agregado radica en realizar un análisis estructural a los fallos para saber objetivamente que acciones correctivas se deben aplicar.

Con los cual se evidencia que hay un gran distanciamiento entre la gestión de mantenimiento actual y una Gestión de Mantenimiento Centrado en confiabilidad.

2.3 Registros históricos de mantenimiento

2.3.1 Costos de no confiabilidad durante el 2009

Para la realización de este estudio investigativo se trabajo con datos del año 2009.

Los costos asociados a la no confiabilidad en la empresa son:

- ✓ El costo del mantenimiento Correctivo, que corresponde al valor facturado por los proveedores de mantenimiento.
- ✓ El costo de lucro cesante, que es el valor que la empresa deja de ganar por tener que paralizar una actividad por una falla en un equipo.

2.3.2 Recopilación de Datos

Los datos de costos de no confiabilidad en el año 2009 se obtuvieron mediante el siguiente procedimiento:

- ✓ Para los costos de mantenimiento correctivo los datos se consiguieron con las facturas y cuentas de cobro realizadas por los proveedores al realizar el mantenimiento de dicha máquina; estos registros se encuentran en los libros contables 2009.
- ✓ Los costos de lucro cesante se adquieren de la siguiente manera: se determina la actividad y el lapso de tiempo no productivo a partir de una falla del equipo; estos datos son hallados en los cronogramas de proyectos en Microsoft Project, luego se remite al presupuesto de la obra para identificar el costo de la actividad, con esta información se calcula el costo por tiempo y se calcula el costo cesante de la actividad.

El resultado de realizar el anterior proceso es la tabla que se muestra a continuación:

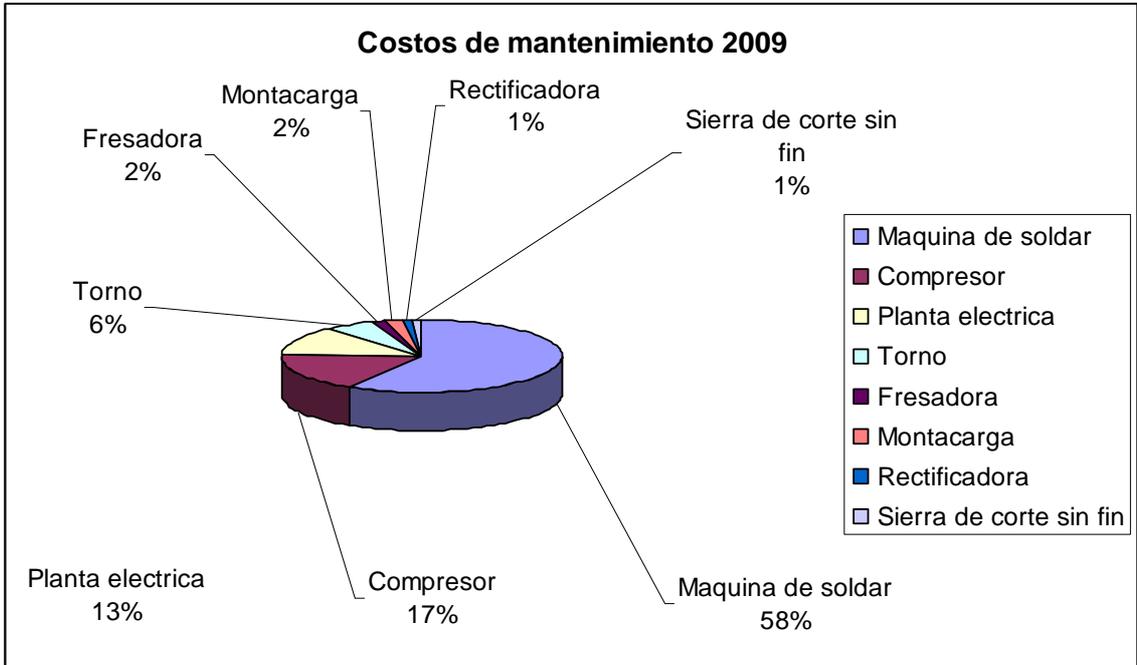
Tabal N° 1 . Distribución de frecuencia por Costos de no confiabilidad 2009

Equipo	Cantidad	Costos de mantenimiento correctivo 2009	Costos de producción o lucro cesante 2009	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada
Maquina de soldar	37	\$23,663,159	\$ 7.210.148,81	58%	58%
Compresor	2	\$6,780,000	\$ 2.400.000,00	17%	75%
Planta eléctrica	2	\$5,245,000	\$ 4.320.000,00	13%	88%
Torno	1	\$2,220,880	\$ 1.100.000	5%	93%
Fresadora	1	\$760,000	\$ 600.000	2%	95%
Montacargas	1	\$740,000	\$ 540.000	2%	97%
Rectificadora	1	\$430,255	\$ 600.000	1%	98%
Sierra de corte sin fin	1	\$470,550	\$ 600.000	1%	99%
Otros mantenimientos		\$466,080		1%	100%
Total		\$40,775,924	\$ 16.770.149		

Fuente: Facturas de mantenimiento, Presupuestos y cronogramas de obra.

Consecuencias económicas = \$ 57.546.073

Figura N° 3 . Diagrama de torta Costos de mantenimiento 2009



Al realizar la distribución de frecuencia de los costos de no confiabilidad durante el año 2009, se puede observar que cerca del 80 % de los costo radica en las máquinas de soldar, la planta eléctrica y los compresores.

2.3.3 Número de fallos durante 2009

Para establecer el número o frecuencia de fallos durante el 2009 se revisaron los registros de mantenimiento de cada uno de los equipos objeto del estudio en ese período.

Como lo establece el Sistema de Gestión de Calidad de la empresa, cada vez que se produce una falla en un equipo, se registra el evento en un formato llamado Solicitud de mantenimiento Ver Anexo 15. En dicho formato se debe registrar los trabajos realizados durante el mantenimiento.

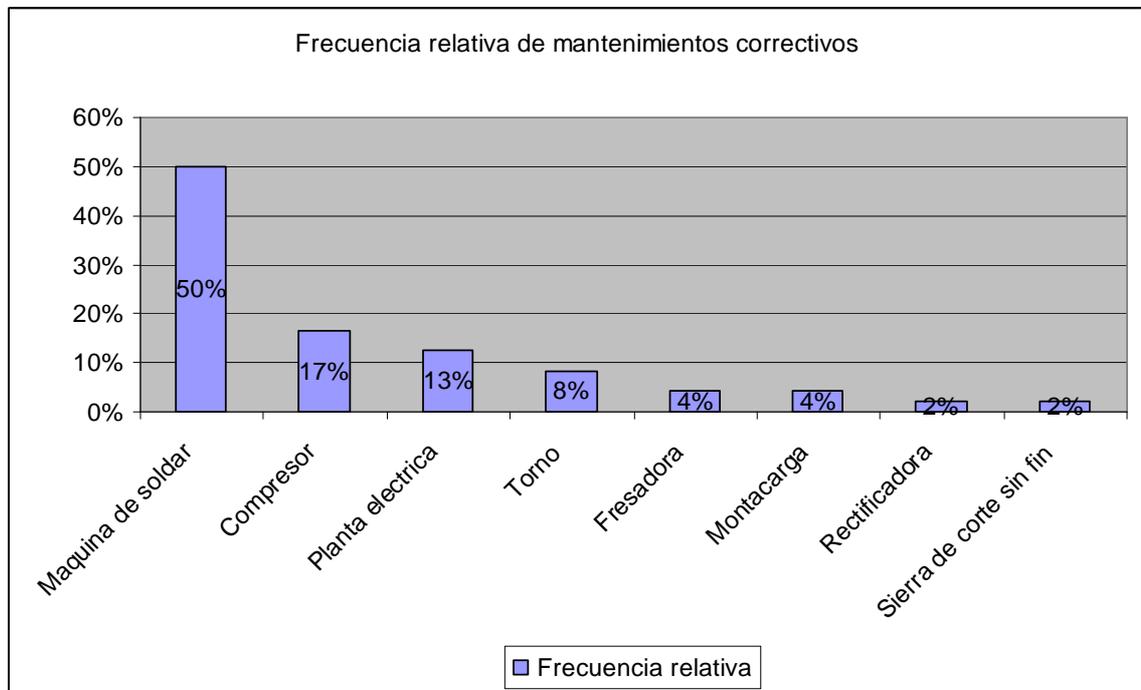
Después de revisar exhaustivamente cada Solicitud de mantenimiento el resultado fue el siguiente:

Tabla N° 2. Distribución de frecuencias por N° de fallo durante 2009

Equipo	Cantidad	N° de fallos 2009	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada
Maquinas de soldar	37	48	50%	50%
Compresores	2	16	17%	67%
Plantas eléctricas	2	12	13%	79%
Torno	1	8	8%	88%
Fresadora	1	4	4%	92%
Montacargas	1	4	4%	96%
Rectificadora	1	2	2%	98%
Sierra de corte sin fin	1	2	2%	100%
Total		96		

Fuente: Facturas de mantenimiento, Presupuestos y cronogramas de obra

Figura N° 4. Diagrama de barras por frecuencia de mantenimientos 2009



Al realizar la distribución de frecuencias se puede observar que cerca del 80 % de los números de fallos radica en las máquinas de soldar, la planta eléctrica y los compresores.

Basados en los datos que arrojan estos dos diagramas de barras, se puede concluir que los equipos mejorables en Inser LTDA son las máquinas de soldar, la planta eléctrica y los compresores. Por tal motivo nuestro estudio se enfocará en mejorar la confiabilidad de estos equipos.

2.4 Análisis estadístico de las fallas de los equipos de la compañía

A continuación dentro de los equipos que conforman las máquinas de soldar, los compresores y las plantas eléctricas se seleccionan cuales de ellos ocasionan mayor impacto económico en la compañía mediante un grafico de Pareto.

2.4.1 Análisis Estadístico de fallas Compresores

Tabla N° 3. Informe de fallas 2009 compresor Sullair

Compresor Sullair			
Modo de falla	Costo de reparación	Fecha de reporte de la falla	Fecha de salida
Se apaga la unidad	\$ 880,000	07/01/2009 16:00	12/01/2009 11:00
Batería descargada	\$ 260,000	15/01/2009 13:00	16/01/2009 11:00
Fuga en manguera hidráulica	\$ 190,000	09/03/2009 10:00	10/03/2009 15:00
Se apaga la unidad	\$ 880,000	30/03/2009 09:00	02/04/2010 11:00
Fuga en manguera hidráulica	\$ 190,000	27/05/2009 08:00	28/05/2010 11:00
Excesiva vibración de motor	\$ 600,000	22/06/2009 09:00	01/07/2009 10:00
Excesiva temperatura de aceite de unidad	\$ 190,000	22/07/2009 14:00	25/07/2009 15:00
Correas no tensionadas	\$ 440,000	30/08/2009 08:00	02/09/2009 14:00
Fuga en manguera hidráulica	\$ 190,000	21/09/2009 09:00	22/09/2009 10:00
Se apaga la unidad	\$ 880,000	04/10/2009 08:00	06/10/2009 10:00
Baja revoluciones en el motor	\$ 550,000	02/12/2009 15:00	04/12/2009 09:00
Total	\$ 5,250,000		

Fuente: Solicitudes de mantenimiento y Facturas de mantenimiento

Tabla N° 4. Informe de fallas 2009 compresor Ingersoll

Compresor Ingersoll Rand			
Modo de falla	Costo de reparación	Fecha de reporte de la falla	Fecha de salida
Fuga en manguera hidráulica	\$ 190,000	05/05/2009 09:00	06/05/2009 10:00
Línea de combustible obstruida	\$ 190,000	23/06/2009 14:00	24/06/2009 15:00
Acople de unidad partido	\$ 440,000	16/08/2009 13:00	20/08/2009 14:00
Batería descargada	\$ 270,000	06/09/2009 15:00	07/09/2009 09:00
Acople de unidad partido	\$ 440,000	10/10/2009 11:00	13/10/2009 10:00
Total	\$ 1,530,000		

Fuente: Solicitudes de mantenimiento y Facturas de mantenimiento

Tabla N° 5. Distribución de frecuencias por Costo de reparación Compresores durante el 2009

Código Interno	Marca	Costo de fallas	Frecuencia Relativa	Frecuencia Acumulada
C05	Ingersoll Rand	\$ 1,530,000	23%	23%
C04	Sullair	\$ 5,250,000	77%	100%
		\$ 6,780,000	100	

Fuente: Autores del proyecto

Figura N° 5. Diagrama de barras cotos Reparación Compresores

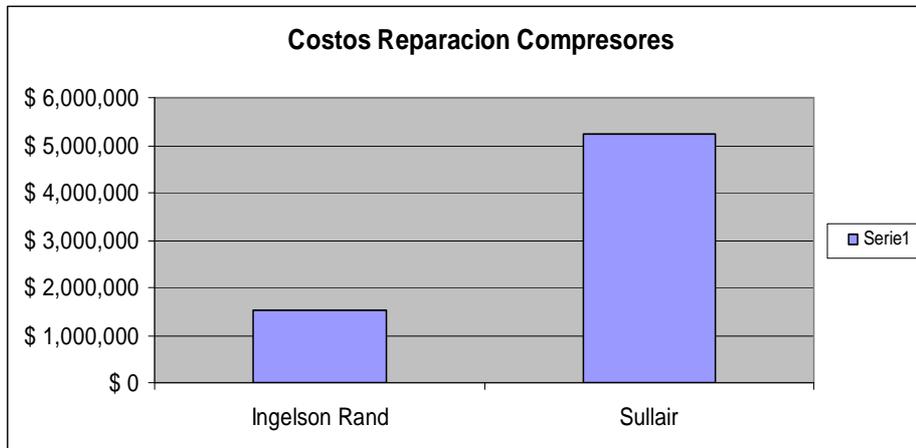
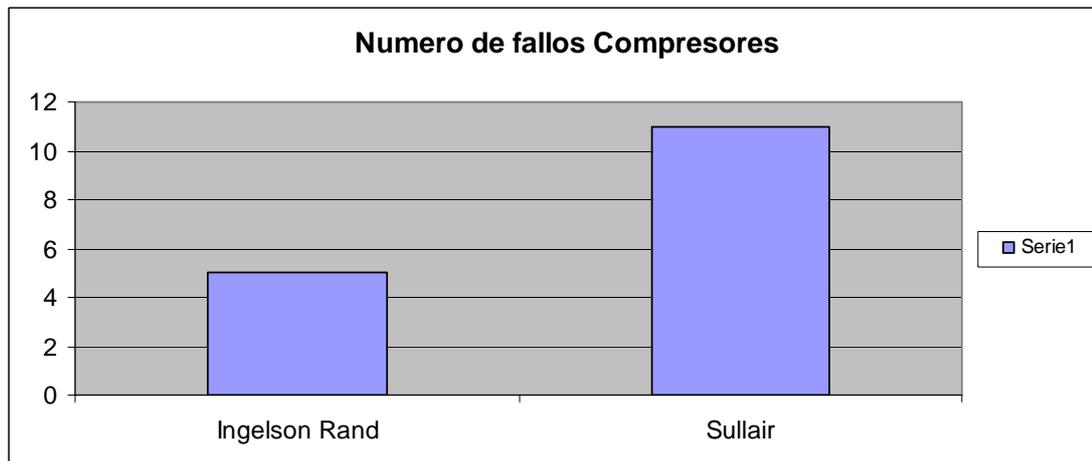


Tabla N° 6. Distribución de frecuencias por N° de fallas de Compresores durante 2009

Código Interno	Marca	N° total de fallas	Frecuencia Relativa	Frecuencia Acumulada
C 05	Ingersoll Rand	5	31%	31%
C 04	Sullair	11	69%	100%
		16	100%	

Fuente: Autores del proyecto

Figura N° 6. Diagrama de barras N° de fallos Com presores



Después de haber realizado Distribución de frecuencias por costos y por N° de fallas se determina que el compresor con mayor impacto en estos dos rubros es el Compresor Sullair.

2.4.2 Análisis Estadístico de fallas Plantas eléctricas

Tabla N° 7. Informe de fallas 2009 Planta eléctrica Modasa

Planta Modasa			
Modo de falla	Costo de reparación	Fecha de reporte de la falla	Fecha de salida
Daño en el Alternador	\$ 130,000	12/01/2009 07:00	24/01/2009 17:00
Daño en turbo alimentador	\$ 1,333,000	28/02/2009 09:00	07/03/2009 11:00
Corto circuito en bobina de excitación	\$ 2,400,000	28/04/2009 12:00	26/05/2009 15:00
Daño en tarjeta de arranque	\$ 150,000	07/07/2009 08:00	14/07/2009 11:00
Daño en el Alternador	\$ 150,000	22/07/2009 08:00	23/07/2009 11:00
Exceso de vibración en el motor	\$ 220,000	09/09/2009 08:00	22/09/2009 15:00
Exceso de humo	\$ 190,000	10/10/2009 09:00	14/10/2009 15:00
Daño en el Alternador	\$ 150,000	19/12/2009 08:00	21/12/2009 14:00
Total	\$ 4,723,000		

Fuente: Solicitudes de mantenimiento y Facturas de mantenimiento

Tabla N° 8. Informe de fallas 2009 Planta eléctrica Cummins

Planta Cummins			
Modo de falla	Costo de reparación	Fecha de reporte de la falla	Fecha de salida
Batería descargada	\$ 60,000	20/08/2009 15:00	21/08/2009 13:00
Daño en el gobernador electrónico	\$ 75,000	29/08/2009 11:00	30/08/2009 16:00
Daño en el pick Un Magnético	\$ 335,000	14/10/2009 09:00	16/10/2009 15:00
Maquina desprogramada	\$ 52,000	10/12/2009 08:00	16/12/2009 14:00.
Total	\$ 522,000		

Fuente: Solicitudes de mantenimiento y Facturas de mantenimiento

Tabla N° 9. Distribución de frecuencia por costos de reparación Plantas eléctricas durante 2009

Código interno	Marca	Costo de fallas	Frecuencia Relativa	Frecuencia Absoluta
PE 01	Modasa	\$ 4,723,000	90%	90%
PE 02	Cummins	\$ 522,000	10%	100
		\$ 5,245,000	100	

Fuente: Autores del proyecto

Figura N° 7 . Diagrama de barras Costos de mantenimiento plantas eléctricas

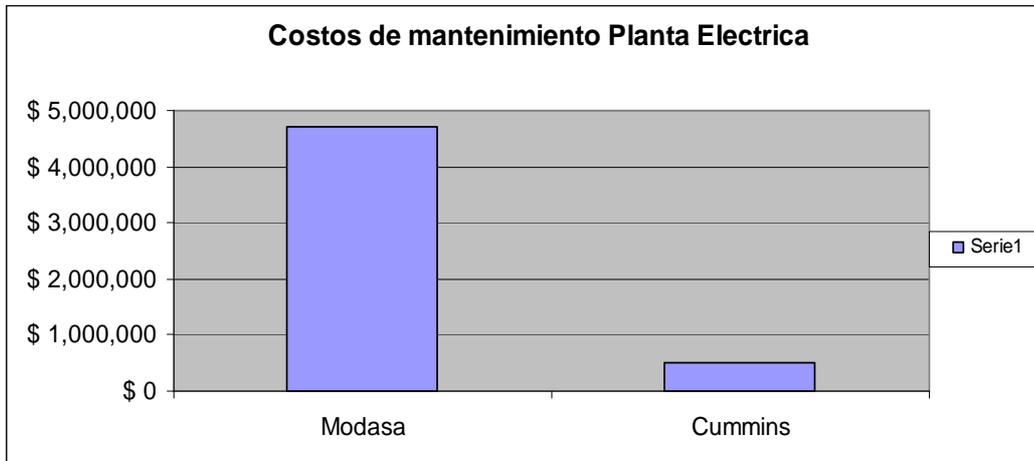
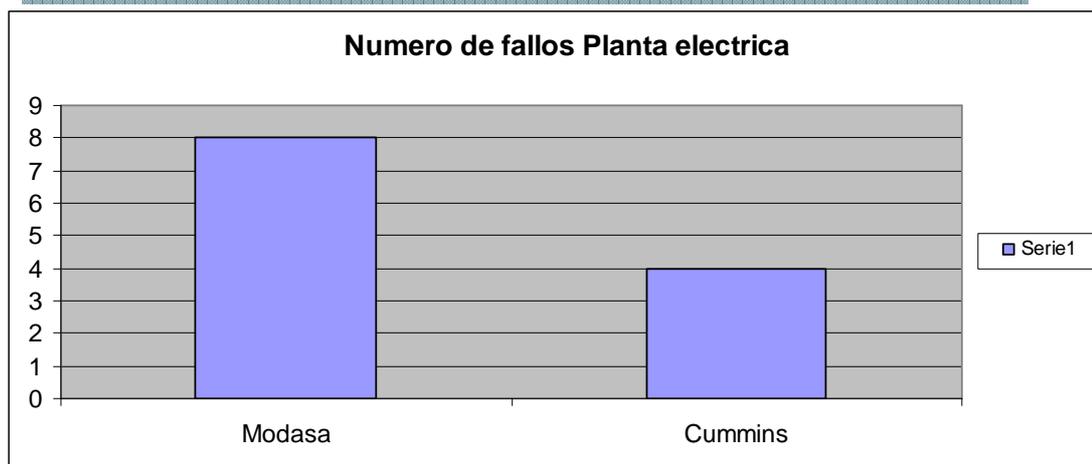


Tabla N° 10. Distribución de frecuencia por N° de reparación Plantas eléctricas durante 2009

Código interno	Marca	N° total de fallas	Frecuencia Relativa	Frecuencia Acumulada
PE 01	Modasa	8	67%	67%
PE 02	Cummins	4	33%	100%
		12	100%	

Fuente: Autores del proyecto

Figura N° 8. Diagrama de barras Número de fallos Planta eléctrica



Se concluye que la planta Eléctrica con mayor número de fallos y mayor impacto en los costos es la Planta Eléctrica Modasa

2.4.3 Análisis estadístico de fallas máquina de soldar

Tabla N° 11. Informe de fallas 2009 Máquinas de soldar

Máquina de soldar Hobart 73			
Modo de falla	Costo de reparación	Fecha de reporte de la falla	Fecha de salida
Corto circuito bobina primaria	\$ 1,620,000	16/01/2009 10:00	31/01/2009 11:00
Tornillo sin fin roto	\$ 80,000	23/03/2009 14:00	27/03/2009 11:00
Corto circuito bobina primaria	\$ 530,000	25/04/2009 11:00	20/05/2009 09:00
Corto circuito bobina primaria y secundaria	\$ 902,500	04/11/2009 11:00	14/11/2009 15:00
Corto circuito bobina primaria	\$ 460,000	10/12/2009 08:00	15/12/2009 09:00
Total	\$ 3,592,500		

Máquina de soldar Hobart 26			
Modo de falla	Costo de reparación	Fecha de reporte de la falla	Fecha de salida
Corto circuito bobina primaria	\$ 660,000	09/04/2009 08:00	19/04/2009 10:00
Tornillo sin fin roto	\$ 80,000	07/07/2009 11:00	10/07/2009 09:00
Tornillo sin fin roto	\$ 80,000	06/08/2009 15:00	09/08/2009 10:00
Corto circuito bobina primaria	\$ 460,000	04/11/2009 11:00	14/11/2009 15:00
Total	\$ 1,280,000		

Máquina de soldar Lincoln DC 600 N°46			
Modo de falla	Costo de reparación	Fecha de reporte de la falla	Fecha de salida
Daño en el CR	\$ 100,000	04/04/2009 08:00	05/04/2009 17:00
Daño en el transformador de control	\$ 120,000	12/04/2009 09:00	14/04/2009 14:00
Daño en la bobina del contactor	\$ 240,000	27/04/2009 09:00	01/05/2009 10:00
Total	\$ 460,000		

Máquina de soldar Hobart N°61			
Modo de falla	Costo de reparación	Fecha de reporte de la falla	Fecha de salida
Ventilador dañado	\$ 120,000	15/01/2009 12:00	18/01/2009 09:00
Corto circuito en bobina secundaria y primaria	\$ 800,000	08/04/2009 11:00	20/04/2009 10:00
Ventilador dañado	\$ 120,000	12/06/2009 18:00	14/04/2009 09:00
Daño en Breaker y regulador de amperaje	\$ 360,000	17/08/2009 08:00	20/08/2009 09:00
Total	\$ 1,400,000		

Máquina de soldar Lincoln N°13			
Modo de falla	Costo de reparación	Fecha de reporte de la falla	Fecha de salida
Daño en el Shunt y tornillo sin fin partido	\$ 360,000	15/06/2009 16:00	22/06/2009 11:00
Daño en el Shunt y tornillo sin fin partido	\$ 360,000	04/09/2009 14:00	07/09/2010 13:00
Total	\$ 720,000		

Máquina de soldar Hobart N°16			
Modo de falla	Costo de reparación	Fecha de reporte de la falla	Fecha de salida
Corto circuito en bobina secundaria y primaria	\$ 980,000	14/04/2009 10:00	20/04/2009 13:00
Daño en tablero selector de rango	\$ 280,000	13/09/2009 08:00	15/09/2009 14:00
Corto circuito en bobina secundaria y primaria	\$ 980,000	16/11/2009 16:00	24/11/2010 15:00
Total	\$ 2,240,000		

Máquina de soldar Hobart N°19			
Modo de falla	Costo de reparación	Fecha de reporte de la falla	Fecha de salida
Corto circuito en bobina secundaria y primaria	\$ 980,000	14/04/2009 10:00	20/04/2009 13:00
Daño en tablero selector de rango	\$ 280,000	13/09/2009 08:00	15/09/2009 14:00
Corto circuito en bobina secundaria y primaria	\$ 980,000	16/11/2009 16:00	24/11/2010 15:00
Total	\$ 2,240,000		

Fuente: Solicitudes de mantenimiento y Facturas de mantenimiento

Tabla N° 12. Distribución de frecuencia por Costo de reparación máquinas de soldar durante 2009

Código interno	Marca	Costo de Reparación	Frecuencia Relativa	Frecuencia Acumulada
MS 73	Hobart	\$3,592,500	15.2%	15%
MS 16	Hobart	\$2,240,000	9.5%	25%
MS 42	Thermal	\$2,000,000	8.5%	33%
MS 34	Lincoln DC 600	\$1,440,000	6.1%	39%
MS 61	Hobart	\$1,400,000	5.9%	45%
MS 26	Hobart	\$1,280,000	5.4%	51%
MS 35	Lincoln DC 600	\$1,200,000	5.1%	56%
MS 19	Hobart	\$1,110,000	4.7%	60%
MS 88	Lincoln Rx 520	\$1,020,000	4.3%	65%
MS 23	Hobart	\$980,000	4.1%	69%
MS 43	Thermal	\$900,000	3.8%	73%
MS 68	Hobart	\$845,000	3.6%	76%
MS 13	Lincoln 250	\$720,000	3.0%	79%
MS 70	Hobart	\$660,000	2.8%	82%
MS 8	Lincoln Rx 520	\$480,000	2.0%	84%
MS 46	Lincoln DC 600	\$460,000	1.9%	86%
MS 37	Thermal	\$460,000	1.9%	88%
MS 4	Lincoln 250	\$460,000	1.9%	90%
MS 95	Lincoln Rx 520	\$460,000	1.9%	92%
MS 58	Hobart	\$400,000	1.7%	93%
MS 59	Hobart	\$400,000	1.7%	95%
MS 63	Hobart	\$360,000	1.5%	97%
MS 5	Lincoln 250	\$220,000	0.9%	98%
MS 90	Thermal	\$215,600	0.9%	98%
MS 45	Lincoln DC 600	\$120,000	0.5%	99%
MS 11	Lincoln Rx 520	\$80,000	0.3%	99%
MS 15	Hobart	\$80,000	0.3%	100%
MS 97	Lincoln Rx 520	\$80,000	0.3%	100%
MS 22	Lincoln 250	\$0	0.0%	100%
MS 23	Lincoln 250	\$0	0.0%	100%
MS 24	Lincoln Rx 520	\$0	0.0%	100%
MS 25	Lincoln Rx 520	\$0	0.0%	100%
MS 26	Lincoln Rx 520	\$0	0.0%	100%
MS 31	Lincoln Rx 520	\$0	0.0%	100%

\$23,663,100

Fuente: Autores del proyecto

Figura N° 9 . Diagrama de barras cotos Reparación Maquinas de soldar

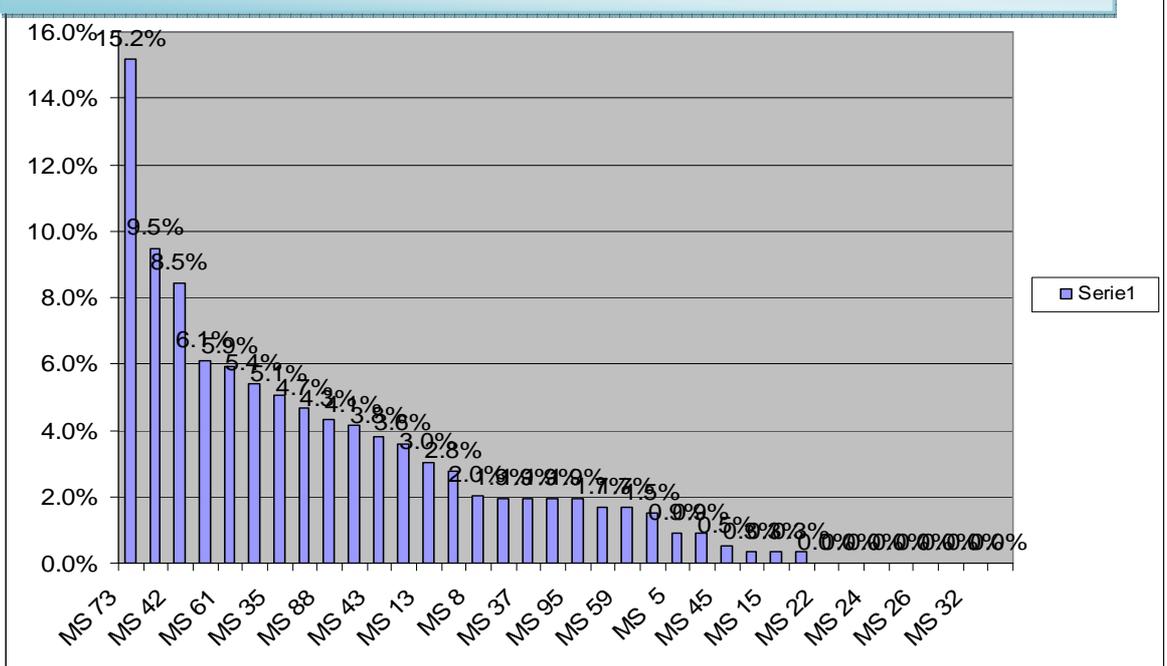
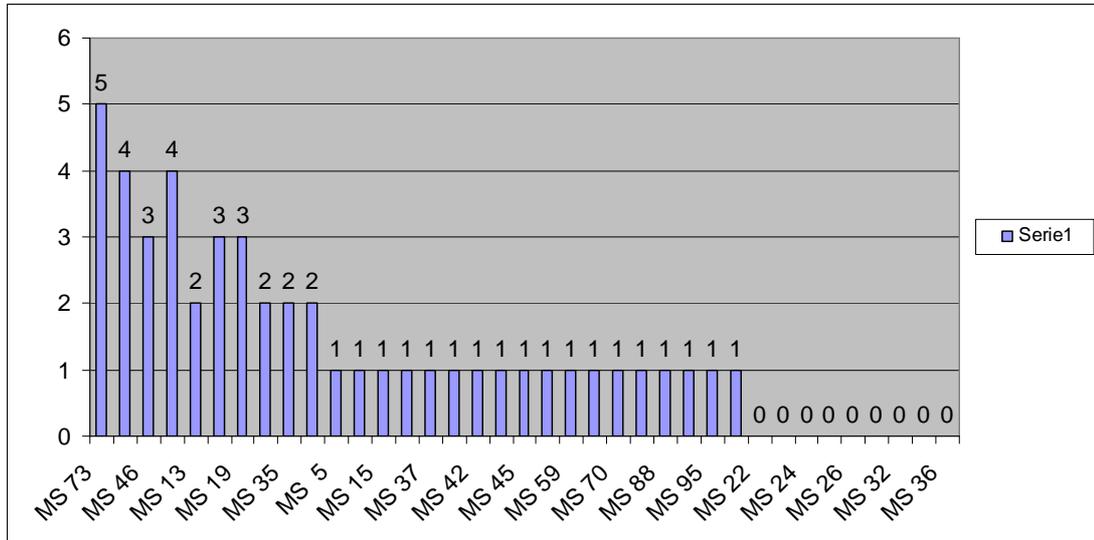


Tabla N° 13. Distribución de frecuencia por N° de fallos máquinas de soldar durante 2009

Código interno	Marca	N° total de fallos	Frecuencia Relativa	Frecuencia Acumulada
MS 73	Hobart	5	10%	10%
MS 26	Hobart	4	8%	19%
MS 46	Lincoln DC 600	3	6%	25%
MS 61	Hobart	4	8%	33%
MS 13	Lincoln 250	2	4%	38%
MS 16	Hobart	3	6%	44%
MS 19	Hobart	3	6%	50%
MS 34	Lincoln DC 600	2	4%	54%
MS 35	Lincoln DC 600	2	4%	58%
MS 68	Hobart	2	4%	63%
MS 5	Lincoln 250	1	2%	65%
MS 11	Lincoln Rx 520	1	2%	67%
MS 15	Hobart	1	2%	69%
MS 23	Hobart	1	2%	71%
MS 37	Thermal	1	2%	73%
MS 4	Lincoln 250	1	2%	75%
MS 42	Thermal	1	2%	77%
MS 43	Thermal	1	2%	79%
MS 45	Lincoln DC 600	1	2%	81%
MS 58	Hobart	1	2%	83%
MS 59	Hobart	1	2%	85%
MS 63	Hobart	1	2%	88%
MS 70	Hobart	1	2%	90%
MS 8	Lincoln Rx 520	1	2%	92%
MS 88	Lincoln Rx 520	1	2%	94%
MS 90	Thermal	1	2%	96%
MS 95	Lincoln Rx 520	1	2%	98%
MS 97	Lincoln Rx 520	1	2%	100%
MS 22	Lincoln 250	0	0%	100%
MS 23	Lincoln 250	0	0%	100%
MS 24	Lincoln Rx 520	0	0%	100%
MS 25	Lincoln Rx 520	0	0%	100%
MS 26	Lincoln Rx 520	0	0%	100%
		48	100%	

Fuente: Autores del proyecto

Figura N° 10. Diagrama de barras Número de Reparaciones maquina



Para escoger cual va ser el equipo crítico se elaboró la Siguiete matriz N° de fallas VS costos de reparaciones

✓ **Frecuencia de las fallas**

Rango 1: 0 fallas

Rango 2: 1 falla

Rango 3: 3 fallas

Rango 4: 4 Fallas

Rango 5: 5 Fallas

✓ **Costo de las Fallas**

Rango 1: Menor que \$500.000

Rango 2: Mayor o igual \$500.000 y menores que \$1.5 millones

Rango 3: Mayor o igual a \$1.5 millones y menor que \$2.5 millones

Rango 4: Mayor o igual a \$2.5 millones y menor que \$3.5 millones

Rango 5: Mayor o igual a \$3.5millones

Tabla N° 14. Matriz N° de fallas VS Costo de reparación

		N° de fallos				
		Rango 1	Rango 2	Rango 3	Rango 4	Rango 5
Costo de mantenimiento	Rango 1			46 – 61		
	Rango 2		13 - 34 - 35 - 68	19	26	
	Rango 3			16		
	Rango 4					
	Rango 5					73

Zona crítica

Después de haber realizado la matriz se obtiene como resultado que el equipo con mayor criticidad es la Máquina de soldar Hobart 73.

2.5 CALCULO DE INDICADORES DE CONFIABILIDAD

2.5.1 Indicadores de confiabilidad Compresor Sullair

Tabla N° 15. Indicadores de confiabilidad Compresor Sullair

Compresor Sullair						
Modo de falla	Fecha de reporte de la falla	Fecha de salida	Tiempo no operable (horas)	Tiempo Operable (horas)	Tiempo entre fallas (horas)	Tiempo entre fallas (días)
Se apaga la unidad	07/01/2009 16:00	12/01/2009 11:00	115			
Batería descargada	15/01/2009 13:00	16/01/2009 11:00	22	74	189	8
Fuga en manguera hidráulica	09/03/2009 10:00	10/03/2009 15:00	29	1247	1269	53
Se apaga la unidad	30/03/2009 09:00	02/04/2009 11:00	74	474	503	21
Fuga en manguera hidráulica	27/05/2009 08:00	28/05/2009 11:00	27	1317	1391	58
Excesiva vibración de motor	22/06/2009 09:00	01/07/2009 10:00	217	598	625	26
Excesiva temperatura de aceite de unidad	22/07/2009 14:00	25/07/2009 15:00	73	508	725	30
Correas no tensionadas	30/08/2009 08:00	02/09/2009 14:00	78	857	930	39
Fuga en manguera hidráulica	21/09/2009 09:00	22/09/2009 10:00	25	451	529	22
Se apaga la unidad	04/10/2009 08:00	06/10/2009 10:00	50	286	311	13
Baja revoluciones del motor	02/12/2009 15:00	04/12/2009 09:00	42	1373	1423	59

MTTR (tiempo promedio en reparación)	68			7937
MTTF (tiempo promedio para fallar)		770		
MTBF (tiempo promedio entre fallas)			790	
R(CONFIBILIDAD)		$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{MTBF}\right)}$		4.30479E-05

CONCEPTOS	TFS	TS	TS+TFS
TIEMPOS	752	7185	7937
DISPONIBILIDAD			91%

2.5.2 Indicadores de confiabilidad Planta eléctrica Modasa

Tabla N° 16. Indicadores de confiabilidad Planta eléctrica Modasa

Planta Modasa						
Modo de falla	Fecha de reporte de la falla	Fecha de salida	Tiempo no operable (horas)	Tiempo Operable (horas)	Tiempo entre fallas (horas)	Tiempo entre fallas (días)
Daño en el Alternador	12/01/2009 07:00	24/01/2009 17:00	298			
Daño en turbo alimentador	28/02/2009 09:00	07/03/2009 11:00	170	832	1130	47
Corto circuito en bobina de excitación	28/04/2009 12:00	26/05/2009 15:00	675	1249	1419	59
Daño en tarjeta de arranque	07/07/2009 08:00	14/07/2009 11:00	171	1001	1676	70
Daño en el Alternador	22/07/2009 08:00	23/07/2009 11:00	27	189	360	15
Exceso de vibración en el motor	09/09/2009 08:00	22/09/2009 15:00	319	1149	1176	49
Exceso de humo	10/10/2009 09:00	14/10/2009 15:00	102	426	745	31
Daño en el Alternador	19/12/2009 08:00	21/12/2009 14:00	54	1577	1679	70

MTTR (tiempo promedio en reparación)	227			8239
MTTF (tiempo promedio para fallar)		918		
MTBF (tiempo promedio entre fallas)	$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{MTBF}\right)}$		1169	
R(CONFIBILIDAD)				0.000870727

CONCEPTOS	TFS	TS	TS+TFS
TIEMPOS	1816	6423	8239
DISPONIBILIDAD			78%

2.5.3 Indicadores de confiabilidad Maquina de soldar

Tabla N° 17. Indicadores de confiabilidad Maq. Soldar hobart

Maquina de soldar Hobart 73						
Modo de falla	Fecha de reporte de la falla	Fecha de salida	Tiempo no operable (horas)	Tiempo Operable (horas)	Tiempo entre fallas (horas)	Tiempo entre fallas (días)
Corto circuito bobina primaria	16/01/2009 10:00	31/01/2009 11:00	361			
Tornillo sin fin roto	23/03/2009 14:00	27/03/2009 11:00	93	1227	1588	66
Corto circuito bobina primaria	25/04/2009 11:00	20/05/2009 09:00	598	696	789	33
Corto circuito bobina primaria y secundaria	04/11/2009 11:00	14/11/2009 15:00	244	4034	4632	193
Corto circuito bobina primaria	10/12/2009 08:00	15/12/2009 09:00	121	617	861	36

MTTR (tiempo promedio en reparación)	283			7991
MTTF (tiempo promedio para fallar)		1644		
MTBF (tiempo promedio entre fallas)		$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{MTBF}\right)}$	1968	
R(CONFIBILIDAD)				0.017223176

CONCEPTOS	TFS	TS	TS+TFS
TIEMPOS	1417	6574	7991
DISPONIBILIDAD			82%

Tabla N° 18. Resumen Indicadores de confiabilidad *

EQUIPO	Tiempo no Operable	Tiempo en servicio	Disponibilidad	MTTR	MTTF	MTBF	MTBF* (calculado por Weibull)	R (confiabilidad)	NUMERO DE FALLAS
Compresor Sullair	752	7185	91%	68	770	790	812	4.30479E-05	11
Planta eléctrica Modasa	1816	6423	78%	227	918	1169	1228	0.000870727	8
maquina de soldar Hobart MS 73	1417	6574	82%	283	1644	1968	1707	0.017223176	5

* Ver anexo N°1,2 y 3. Calculo de MTBF mediante distribución de Weibull

2.6 Cálculo de MTBF (tiempo medio entre fallas) mediante distribución de Weibull

2.6.1 Definición Distribución de Weibull

La distribución de Weibull es una distribución para describir las tasas de fallas a través del tiempo.

La distribución Weibull describe adecuadamente los tiempos de fallo de las componentes cuando su tasa de fallo aumenta o disminuye con el tiempo.

Para ello utiliza tres parámetros que son:

η = Parámetro escalar.

β = Parámetro de forma.

Eta (η), la característica de vida, o el punto a que 63,2% de los ítems probablemente habrán fallado con el mismo modo de falla.

Beta (β), es la cuesta de la curva o la característica de la forma de la curva de fallas. La beta se usa para ayudar a determinar qué clase de actividades de mantenimiento se destina para un modo de falla dado.⁵⁹

⁵⁹ Fuente: www.confabilidad.net – parámetros de Weibull

INTERPRETACIÓN DE

β

$$0 < \beta < 1$$

TASAS DE FALLA DISMINUYENDO EQUIVALENTE A MORTALIDAD INFANTIL

$$\beta = 1$$

TASAS DE FALLA CONSTANTE: FALLAS ALEATORIAS INDEPENDIENTE DEL TIEMPO.

$$1 < \beta < 2$$

TASAS DE FALLA INCREMENTANDOSE, DESGASTE TEMPRANO. RODAMIENTOS.

$$2 < \beta < 4$$

TASAS DE FALLA INCREMENTANDOSE, FATIGAS, EROSION, CORROSION, ECT.

$$\beta > 4$$

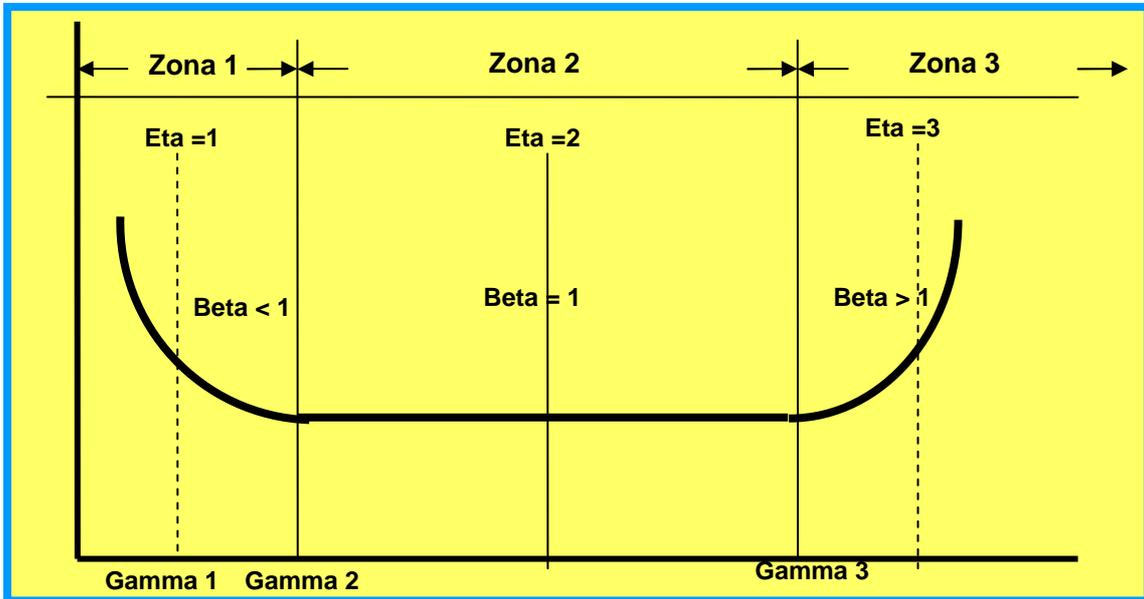
TASAS DE FALLA INCREMENTANDOSE, ENVEJECIMIENTO OPERACIONAL.

La ecuación para la función de densidad Weibull acumulativa de tres parámetros, es dada por

$$R(T) = e^{-\left(\frac{T}{\eta}\right)^\beta}$$

Los parámetros de weibull pueden describir cualquier comportamiento de falla durante el ciclo de vida de un equipo, usando las tres zonas de la curva de la bañera.

Figura N° 11. Curva de la bañera distribución de Weibull



60

2.6.2 Pasos para calcular MTBF (tiempo medio entre fallas) mediante distribución de Weibull

Primero se alinea los tiempos de fallo en orden ascendente

Segundo se Obtiene la mediana trazando posiciones, mediante la siguiente ecuación:

$$MR\% \sim \frac{i - 0.3}{N + 0.4} \cdot 100$$

donde i es el número de orden de fallos y N es el tamaño total de la muestra.

⁶⁰ Fuente: www.confabilidad.net/ - Parámetros de Weibull

Tercero debemos hallar los X_i y Y_i para poder aplicar regresión lineal mediante las siguientes ecuaciones:

$$y_i = \ln \{ - \ln [1 - F(T_i)] \}$$

$$x_i = \ln(T_i)$$

Cuarto debemos realizar la tabla de regresión lineal

Tiempo de falla	F(t)	X	Y	XY	X ²	Y ²

Quinto debemos hallar a y b

$$a = \frac{\sum x^2 \sum y - \sum x \sum xy}{n \sum x^2 - (\sum x)^2}$$

$$b = \beta = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2}$$

donde,

$$b = \beta$$

$$\eta = e^{-\frac{a}{\beta}}$$

Sexto se puede hallar la confiabilidad o razón de falla instantánea de los componentes

$$R(T) = e^{-\left(\frac{T}{\eta}\right)^\beta}$$

* Ver anexo N°1,2,3. Cálculo de MTBF mediante distribución de Weibull

2.7 Diagnóstico de la confiabilidad de los equipos

La tabla resumen muestra los indicadores de la confiabilidad para éstos equipos de los cuales se puede observar que:

El compresor Sullair posee una disponibilidad del 91%, una falla se presenta cada 812 horas y el tiempo de reparación es de 68 horas.

Planta eléctrica Modasa su disponibilidad es del 78% y la no operatividad del mismo es del 12% donde se incluyen los tiempos de reparación por ende el tiempo medio entre fallas es de 1228 horas.

En las máquinas de soldar se presenta que MS 73 el tiempo medio entre fallas es de 1135. La disponibilidad de esta máquina de soldar es de 82%.

Los equipos de soldar, los compresores y plantas eléctricas, trabajan en condiciones extremas como por ejemplo: intemperie, sol, polvo, humedad, doble turnos de trabajo, esto hace que el tiempo entre fallas se reduzca en comparación con los tiempos de falla de diseño

De acuerdo con información de diseño suministrada por los proveedores los MTBF por diseño en condiciones normales son:

- ✓ Máquina de Soldar Hobart 5000 horas
- ✓ Compresor Sullair 2700 horas
- ✓ Planta eléctrica Modasa 3000 horas

Después de haber realizado los Diagramas de Paretos tenemos que desde el punto de vista estratégico y operativo los equipos más críticos son: Máquina de soldar Hobart 73, Compresor Sullair, Planta eléctrica Modasa; ya que estos equipos son los que en sus respectivos grupos de la misma especie han repercutido mayormente en los costos y en el número de fallos.

Los tiempos entre fallas de los equipos críticos están muy por debajo de los tiempos entre fallas por diseño. Esto está siendo afectado por las condiciones extremas en que trabajan los equipos

Todo lo anterior tiene un impacto alto en el desempeño operativo y administrativo de la empresa, el cual se resume así:

- a) En lo económico el impacto de la no confiabilidad fue de \$ 57.546.073 durante el año 2009.

- b) En lo administrativo, un gran desgaste administrativo en la logística de consecución de equipos de reemplazo, coordinación de actividades de mantenimiento, trabajo de sobretiempo, etc.
- c) En el aspecto de seguridad, mayores riesgos, por la presión de trabajo que se origina por falla de estos equipos.

3. DEARROLLO DE METODOLOGÍA FMECA Y RCA

El propósito de este capítulo es desarrollar la metodología FMECA y RCA para los equipos de mayor criticidad, para general las acciones de mantenimiento de tipo previsorio, preventivo, de detección temprana o de contingencia requeridos para aumentar su disponibilidad y mejorar su confiabilidad. Describir y evaluar el impacto de adoptar y perpetuar el uso de las metodologías RCA y FMECA en la empresa Inser Ltda. Dar a conocer una guía de implementación del proyecto en la Compañía.

3.1 Desarrollo de FMECA

FMECA es una metodología para la prevención de fallos y se aplica con bases en el estudio sistemático de los modos de fallos y sus causas partiendo de sus efectos. FMECA contribuye al mejoramiento de la confiabilidad por medio de la identificación de puntos de mayor riesgo de falla de un producto, para reducirlos al mínimo mediante la aplicación de acciones pertinentes.

Para la elaboración del FMECA hacia los equipos críticos ya identificados, se conformó un grupo de trabajo multidisciplinario conformado por los siguientes miembros:

- ✓ Jefe de Mantenimiento
- ✓ Electricista de patio
- ✓ Director de proyecto
- ✓ Proveedor de mantenimientos eléctricos
- ✓ Coordinador de SGC
- ✓ Ing. Consultor en FMECA

Para la elaboración del FMECA se definieron una escala de para establecer la probabilidad ocurrencia, de severidad y de detección, tal como lo muestran las tablas 19,20,21.

A partir de la valoración de cada una de esas probabilidades se obtuvo para cada modo de falla el coeficiente RPN (risk priority number o índice de prioridad de riesgo).

Después se diseñaron algunas acciones para disminuir el RPN ya sea mediante la reducción de la probabilidad ocurrencia, de severidad y de detección.⁶¹

Tabla N° 19. Escala para determinar probabilidad de frecuencia

PUNTOS	CRITERIO DE FALLA	FRECUENCIA DE FALLA
1	REMOTA O RARO : No es razonable que este modo de falla ocurra	Fallas mayores de 3 años.
2	MUY BAJA O AISLADO: Basado en diseños similares y teniendo número de fallas bajo.	1 / 10000
3	BAJA O ESPORÁDICO: Basado en diseños similares que han experimentado fallas esporádicas	1/1000
4	CONCEBIBLE: Basado en diseños similares que han causado problemas.	1/100
5	RECURRENTE: Hay certeza que las fallas se repetirán	1/10

⁶¹ Fuente: Luis Fernando Botero. Monografía Especialización Gerencia de Producción y calidad. Tópicos especiales. Segundo Capítulo

Tabla N° 20. Escala para determinar probabilidad de severidad

PUNTOS	CRITERIO DE SEVERIDAD
1	MENOR : No hay efecto informado
2	MARGINAL : Fastidiosa. No hay degradación de sistema.
3	MODERADO : Causa insatisfacción. Alguna degradación en el sistema.
4	CRÍTICA : Causa un alto grado de insatisfacción. Pérdida de la función del sistema.
5	CATASTRÓFICA : Una falla que puede causar muerte(s) o daños graves a la propiedad.

Tabla N° 21. Escala para determinar probabilidad de detección

PUNTOS	CRITERIO DE DETECCION	PROBABILIDAD DE DETECCION
1	MUY ALTA PROBABILIDAD DE DETECCION de la falla hasta que esta ocurra. Casi siempre hay señales de precaución.	80 % - 100%
2	ALTA PROBABILIDAD DE DETECCION de la falla hasta que esta ocurra. La mayoría de las veces está precedida por una señal de precaución.	60 % - 80%
3	PROBABILIDAD DE DETECCION MODERADA de la falla hasta que esta ocurra. Cerca del 50% de oportunidad de tener una señal de precaución	40 % - 60%
4	BAJA PROBABILIDAD DE DETECCION de la falla hasta que esta ocurra. La mayoría de las veces hay una pequeña o ninguna señal de precaución.	20 % - 40%
5	REMOTA PROBABILIDAD DE DETECCION de la falla hasta que esta ocurra. Siempre sin ninguna señal de precaución	0 % - 20%

Modo de falla	Efecto de falla	Severidad	Causa de la falla	Frecuencia	Controles preventivos actuales	Controles de detección actuales.	Detección	RPN
1 Falta de limpieza de componentes internos	Contaminación de los componentes internos de la maquina	5	1. Las maquina trabajan en condiciones ambientales extremas, ya que están expuestas al sol, humedad, polvo, gases tóxicos; además trabajan 16 horas de jornadas diarias. 2. Política de mantenimiento no eficaz.	5	Aplicación de mantenimiento preventivo semestral	No hay	3	75
	Pérdida de potencia de la maquina ocasionando que la maquina al soldar no tenga la penetración requerida							
2 Cables pelados o con empates	Pérdida de potencia de la maquina ocasionando que la maquina al soldar no tenga la penetración requerida	5	Cables están a la intemperie, tirados en el piso no protegidos de las condiciones de trabajo	5	No hay	No hay	5	25
	Recalentamiento de todo el sistema							
3 Vibración de la maquina	Recalentamiento perdidas de potencia	5	Falsos contactos mecánicos	3	Aplicación de mantenimiento preventivo semestral	No hay	3	45

Modo de falla		Efecto de falla	Sev	Causa de la falla	Frec	Controles preventivos actuales	Controles de detección actuales.	Det	RPN
4	Falsos contactos eléctricos	Discontinuidad en tiempo de trabajo de la maquina, el arco tiene intermitencia	5	1. Conexiones flojas , falta de ajuste por falta de arandelas lisas y de presión, el cable extendido en áreas alta mente húmedas sin aislamiento debido en los puntos de contacto. 2. Política de mantenimiento	5	Aplicación de mantenimiento preventivo semestral	No hay	3	75
		Pérdida de potencia de la maquina ocasionando que la maquina al soldar no tenga la penetración requerida							
5	Baja capacidad en el puente rectificador	Recalentamiento del puente rectificador y de la bobina primaria	4	Se sulfata el disipador de calor del puente rectificador y se sube la temperatura, colocando en corto el puente y la bobina	2	Limpieza interna a los componentes de la maquina semestralmente	no hay	3	24
6	Mal aislamiento térmico	Pérdida de potencia de la maquina ocasionando que la maquina al soldar no tenga la penetración requerida	5	La Calidad del material utilizado para realizar el aislamiento térmico como no el barniz dieléctrico y la fibra de vidrio convencional no disipa el calor adecuadamente	3	No hay	No hay	5	75
		Recalentamiento de la bobina primaria				No hay	no hay		
7	Desgaste en el buje que va soportando el sin fin	Recalentamiento de la bobina primaria	5	Fricción	2	no hay	no hay	5	50

RPN promedio = 67

IMPACTO DE ACCIONES RECOMENDADAS MAQUINA DE SOLDAR									
Modo de falla	Acciones recomendadas	Responsable	Fecha estimada de cumplimiento	Después de acciones tomadas					
				Sev	Frec	Det	RPN	% Red.	
1	Falta de limpieza de componentes internos	Llevar control de horas trabajadas de cada máquina y hacer rotación periódica de las mismas teniendo en cuenta su tiempo medio entre fallas	Jefe de mantenimiento	nov-10	5	1	2	10	87%
2	Cables pelados o con empates	Proteger los cables mediante vinchas que aseguren los cables para que estén enrutados y protegidos	Supervisor de producción	nov-10	5	2	2	20	84%
		Diseñar una lista de chequeo pre operacional que incluya la verificación de la protección de los cables por parte del trabajador	Jefe de mantenimiento / Director de proyectos	nov-10					
3	Vibración de la maquina	Llevar control de horas trabajadas de cada máquina y hacer rotación periódica de las mismas teniendo en cuenta su tiempo medio entre fallas	Jefe de mantenimiento	nov-10	5	1	1	5	88,9%
		Mejoramiento del mantenimiento preventivo de la máquina incluir revisión de contactos mecánicos, realizar ajustes de ser necesario	Jefe de mantenimiento	nov-10					

IMPACTO DE ACCIONES RECOMENDADAS									
Modo de falla	Acciones recomendadas	Responsable	Fecha estimada de cumplimiento	Después de acciones tomadas					
				Sev	Frec	Det	RPN	% Red.	
4	Falsos contactos eléctricos	Instalar sensor de temperatura que dispare la maquina cuando esta sobre pase los 60 grados	Jefe de mantenimiento	nov-10	5	1	1	5	93,3%
5	Baja capacidad en el puente rectificador	Mejoramiento del mantenimiento preventivo de la máquina incluir revisión de contactos eléctricos, reemplazar en caso de estar sulfatados	Jefe de mantenimiento	nov-10	5	1	2	10	58,3%
6	Mal aislamiento térmico	Utilizar Fibra americana ya que es mejor disipador de calor. Utilizar barniz dialectico Giptal ya que este aísla y disipa mejor el calor	Jefe de mantenimiento	nov-09	5	1	2	10	86,7%
7	Desgaste en el buje que va soportando el sin fin	Aplicación de antiadherente para evitar fricción	Jefe de mantenimiento	nov-10	5	1	2	10	80,0%

RPN promedio después de implementar acciones = 10

3.1.1.1 Interpretación FMECA máquina de soldar

El RPN en promedio (índice prioritario de riesgo) para un equipo de soldar paso de ser 67 a 10 después de establecer las acciones recomendadas lo cual constituye una reducción del 85.1%. Este resultado se obtiene gracias a que las acciones recomendadas se encaminan a reducir la probabilidad de frecuencia de la falla y aumentar la probabilidad de detección.

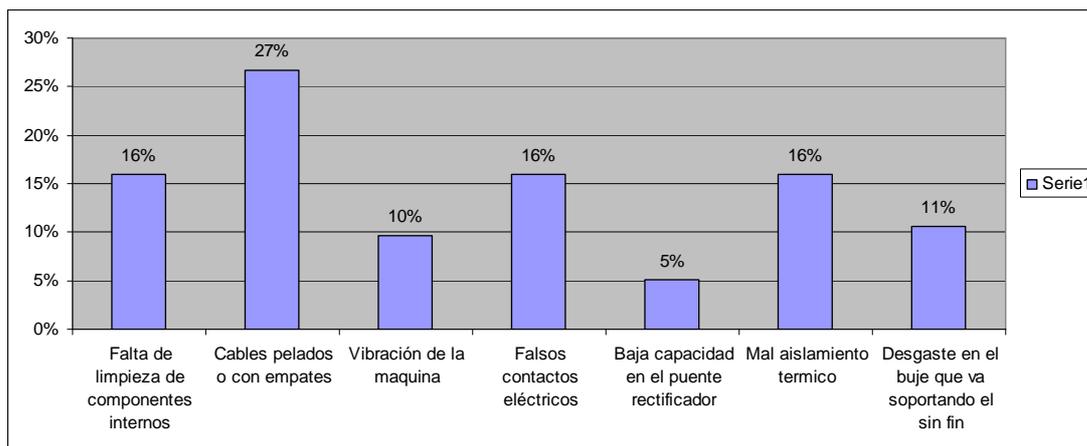
Después de haber calculado el RPN (índice prioritario de riesgo) para cada modo de fallo de la máquina de soldar, se elaboró la siguiente distribución de frecuencia y diagrama de barras para conocer cual era el modo de falla dominante de este equipo y de esa manera saber como priorizar las actividades recomendadas. De esta manera el modo de falla dominante es “Cables pelados o con empates”:

Tabla N° 22. Distribución de frecuencia RPN Máquina de soldar

MODOS DE FALLA	RPN	%	ACUMULADO
Falta de limpieza de componentes internos	75	16%	16%
Cables pelados o con empates	125	27%	43%
Vibración de la maquina	45	10%	52%
Falsos contactos eléctricos	75	16%	68%
Baja capacidad en el puente rectificador	24	5%	73%
Mal aislamiento térmico	75	16%	89%
Desgaste en el buje que va soportando el sin fin	50	11%	100%
TOTAL	469	100%	

Fuente: Autores del Proyecto

Figura N° 12. Diagrama de barra RPN Máquina de soldar



3.1.2 FEMECA COMPRESOR

	Modo de falla	Efecto de falla	Sev	Causa de la falla	Frec	Controles preventivos actuales	Controles de detección actuales.	Det	RPN
1	Recalentamiento de motor de unidad	Quema del motor	5	Saturación del filtro de aire de unidad, daño en los cheques de succión	3	Cambio de filtro de aire cada 500 horas	Sensor de temperatura del equipo	2	30
2	Alta presión de aire	El equipo no proporciona las condiciones de trabajo requeridas	4	Falla en los presostatos	2	N/A	N/A	5	40
3	Excesiva vibración del motor	Produce desajuste al motor como tal, este efecto produce un fenómeno que se llama alteración del sistema de sombrero y este fenómeno altera el flujo magnético del motor como tal, dando como resultado la quema prematura del mismo	5	Falta de ajuste de motor base	3	No hay	No hay	5	75
4	Se apaga la unidad	alta temperatura de aceite unidad, calentamiento de unidad, pérdida de empuje y compresión	5	Bajo nivel de aceite de unidad, daños en rodamientos de unidad o de motor, se producen ruido en el rodamiento	4	No hay	No hay	5	100

	Modo de falla	Efecto de falla	Sev	Causa de la falla	Frec	Controles preventivos actuales	Controles de detección actuales.	Det	RPN
6	Recalentamiento de motor eléctrico	Quema del motor	5	Saturación del filtro de aire de motor, daño en los cheques de succión	3	Cambio de aceite cada 500 horas	Sensor de temperatura del equipo	2	30
7	Baja revoluciones del motor	Perdida de empuje o compresión	4	Filtro de aire Obstruido / línea de combustible Obstruida / Combustible contaminado	2	Cambios de filtro de combustible y aire cada 500 horas	No hay	3	24
8	No arranca el motor	Retraso de avance de obra	3	Desgates de batería, bornes sulfatado o mala conexión de cable eléctrico	4	N/A	N/A	4	48
9	Baja presión de aire	Pierde capacidad de empuje o compresión	5	Fatiga de los anillos del pistón por falta de elasticidad / Fatiga de tornillo sin fin	3	Cambio de aceite de unidad cada 500 horas	No hay	3	45

RPN promedio= 55.9

IMPACTO DE ACCIONES RECOMENDADAS FMECA COMPRESOR

Modo de falla	Acciones recomendadas	Responsable	Fecha estimada de cumplimiento	Después de acciones tomadas				
				Sev	Frec	Det	RPN	% Red.
1 Recalentamiento de motor de unidad	Revisión y limpieza diaria de filtro de aire. Ajustar el programa de mantenimiento realizando el cambio de filtro cada 250 horas dado las condiciones extremas en que trabajan los equipos.	Jefe de Mantenimiento	nov-10	5	1	1	5	83,3%
	No utilizar el compresor cerca de vertederos de agua	Jefe de Mantenimiento	nov-10					
2 Alta presión de aire	Revisar los relojes que estén en el rango de calibración de presostatos requerido	Jefe de Mantenimiento	nov-10	4	1	2	8	80%
3 Excesiva vibración del motor	Revisión Periódica de los tornillos de ajuste y de cauchos amortiguadores del motor y ajustarlos o cambiarlos de ser necesario	Jefe de Mantenimiento	nov-10	5	1	2	10	86,7%
4 Se apaga la unidad	. Revisión diaria de nivel de aceite de unidad, revisar las poleas de las correas que no se deslicen, evitar humedad cerca del motor	Jefe de Mantenimiento	nov-10	5	2	2	20	80,0%

IMPACTO DE ACCIONES RECOMENDADAS FMECA COMPRESOR

Modo de falla	Acciones recomendadas	Responsable	Fecha estimada de cumplimiento	Después de acciones tomadas				
				Sev	Frec	Det	RPN	% Red.
5 Fugas en mangueras hidráulicas	Revisión diaria de fugas, mediante chek list	Jefe de Mantenimiento	nov-10	5	2	2	20	80,0%
6 Recalentamiento de motor eléctrico	Revisión y limpieza diaria de filtro de aire. Ajustar el programa de mantenimiento realizando el cambio de filtro cada 250 horas dado las condiciones extremas en que trabajan los equipos.	Jefe de Mantenimiento	01/11/10	5	1	1	5	83,3%
	No utilizar el compresor cerca de vertederos de agua							
7 Baja revoluciones del motor	Reajuste de programa de mantenimiento, cambio de filtro cada 250 horas	Jefe de Mantenimiento	nov-10	4	1	2	8	66,7%
8 No arranca el motor	Revisión periódica liquido de batería, limpieza de bornes y revisión de conexiones eléctricas, mediante chek list	Jefe de Mantenimiento	nov-10	3	2	2	12	75,0%
9 Baja presión de aire	Revisión diaria de nivel de aceite de unidad mediante check list	Jefe de Mantenimiento	nov-10	5	1	2	10	78%

RPN promedio después de las acciones recomendadas = 11

3.1.2.1 Interpretación FMECA Compresor

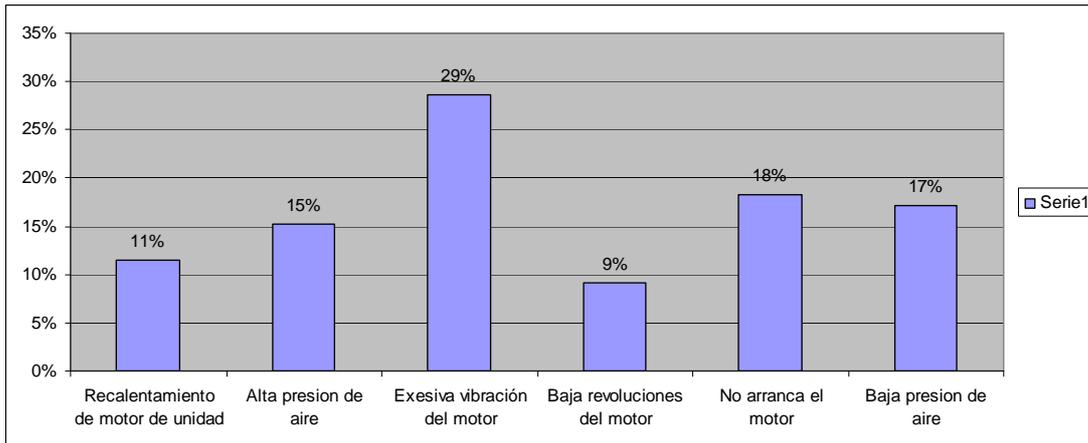
El RPN en promedio (índice prioritario de riesgo) para un Compresor paso de ser 55.9 a 11 después de establecer las acciones recomendadas lo cual constituye una reducción del 80.3%. Este resultado se obtiene gracias a que las acciones recomendadas se encaminan a reducir la probabilidad de frecuencia de la falla y aumentar la probabilidad de detección.

Después de haber calculado el RPN (índice prioritario de riesgo) para cada modo de fallo del compresor, se elaboró la siguiente distribución de frecuencia y diagrama de barras para conocer cuál era el modo de falla dominante de este equipo y de esa manera saber cómo priorizar las actividades recomendadas. De esta manera el modo de falla dominante es “Excesiva vibración de motor”:

Tabla N° 23. Distribución de frecuencia RPN Compresor

MODOS DE FALLA	RPN	%	ACUMULADO
Recalentamiento de motor de unidad	30	11%	11%
Alta presión de aire	40	15%	27%
Excesiva vibración del motor	75	29%	55%
Baja revoluciones del motor	24	9%	65%
No arranca el motor	48	18%	83%
Baja presión de aire	45	17%	100%
TOTAL	262	100%	

Figura N° 13 . Diagrama de barra RPN Compresor



3.1.3 FMECA PLANTA

	Modo de falla	Efecto de falla	Sev	Causa de la falla	Frec	Controles preventivos actuales	Controles de detección actuales.	Det	RPN
1	Daño en el alternador	maquina no arranca	4	Bajo nivel de liquido de batería, se recalienta excitación y se quema Bornes sulfatados de batería , se recalienta bobina de excitación de alternador	3	No hay	No hay	4	48
2	Exceso de humo	Deterioro de sistema de combustión	4	Combustible contaminado, Problema de inyectores o en bomba de inyección, anillos, culata	4	Cambio de filtro de combustible cada 500 horas	No hay	3	48
3	Baja potencia del motor	No genera la carga requerida	4	Aire en bomba de inyección / Obstrucción en línea de combustible / Obstrucción en la entrada de aire	2	Mant.prtivo cada 500 horas	No hay	3	24
4	Se apaga el motor	No genera energía	4	Aire en bomba de inyección / Obstrucción en línea de combustible / Combustible contaminado	2	Mant, Prev. cada 500 horas	No hay	3	24
5	Corto circuito en tarjeta electrónica	No genera energía	5	Recargar de el equipo por encima de su capacidad ocasiona recalentamiento del generador	2	Se cuenta con un electricista de planta capacitado para realizar la conexiones eléctricas	No hay	3	15

RPN promedio = 11

IMPACTO DE ACCIONES RECOMENDADAS PLANTA ELÉCTRICA

	Modo de falla	Acciones recomendadas	Responsable	Fecha estimada de cumplimiento	Después de acciones tomadas				
					Sev	Frec	Det	RPN	% Red.
1	Daño en el alternador	Elaboración de check list para verificar el estado de los bornes	Jefe de Mantenimiento	nov-10	4	1	1	4	92%
		Verificación de nivel de líquidos de batería	Jefe de Mantenimiento	nov-10					
2	Exceso de humo	Reajustar programa de mantenimiento para realizar cambio de combustible cada 250 horas	Jefe de Mantenimiento	nov-10	4	1	2	8	83%
		Dejar reposar el combustible en un tanque 12 horas antes de ser introducido a la planta para dejar que las impurezas se estanquen en el fondo del tanque	Jefe de Mantenimiento	nov-10					
		Limpieza periódica de los tanques donde se suministra el combustible	Jefe de Mantenimiento	nov-10					
3	Baja potencia del motor	Reajustar programa de mantenimiento para realizar cambio de filtro de combustible cada 250 horas	Jefe de Mantenimiento	nov-10	4	1	2	8	66,7 %
4	Se apaga el motor	Reajustar programa de mantenimiento para realizar cambio de filtro de combustible cada 250 horas	Jefe de Mantenimiento	nov -10	4	1	2	8	66,7 %
5	Corto circuito en tarjeta electrónica	Repartir la carga en cada una de las fases de acuerdo a la capacidad de la planta. Asegurar que el personal que realice esta conexión esté capacitado	Jefe de Mantenimiento	nov-10	5	1	2	10	33,3 %

RPN PROMEDIO DESPUES DE LAS ACCIONES RECOMENDADAS = 7

3.1.3.1 Interpretación FMECA Planta eléctrica

El RPN en promedio (índice prioritario de riesgo) para una Planta eléctrica paso de ser 36 a 7 después de establecer las acciones recomendadas lo cual constituye una reducción del 80.6%. Este resultado se obtiene gracias a que las acciones recomendadas se encaminan a reducir la probabilidad de frecuencia de la falla y aumentar la probabilidad de detección.

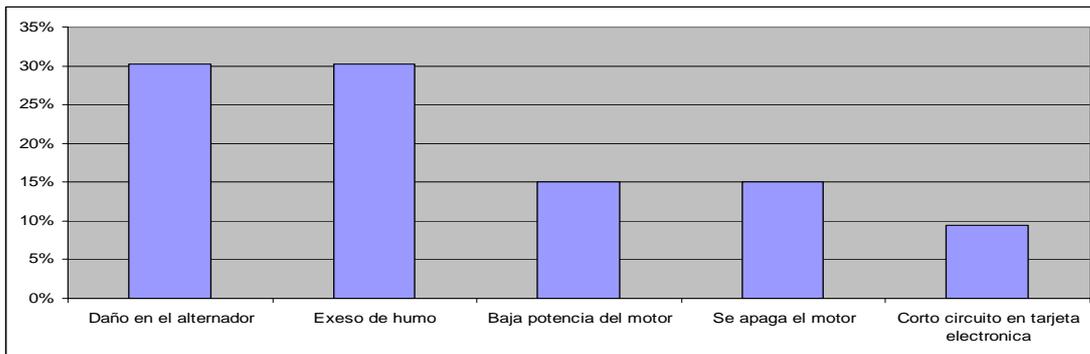
Después de haber calculado el RPN (índice prioritario de riesgo) para cada modo de fallo de la planta eléctrica, se elaboró la siguiente distribución de frecuencia y diagrama de barras para conocer cuál era el modo de falla dominante de este equipo y de esa manera saber cómo priorizar las actividades recomendadas. De esta manera el modo de falla dominante es “Daño en alternador y Exceso de humo”:

Tabla N° 24. Distribución de frecuencia RPN Planta eléctrica

MODOS DE FALLA	RPN	%	ACUMULADO
Daño en el alternador	48	30%	30%
Exceso de humo	48	30%	60%
Baja potencia del motor	24	15%	75%
Se apaga el motor	24	15%	91%
Corto circuito en tarjeta electrónica	15	9%	100%
TOTAL	159		

Fuente: Autores del proyecto

Figura N° 14. Diagrama de barra RPN Planta eléctrica



3.2 Caso RCA

El RCA o análisis de causa raíz es una herramienta de la Ingeniería de la Confiabilidad la cual es aplicada después de que ocurra algún fallo y tiene por objetivo establecer el origen de las falla analizando el fallas físicas, humanas y del proceso que pudiesen haber incidido en que se produjera esa falla.

Mediante la aplicación del RCA o análisis de causa raíz se puede evaluar la eficacia de los controles implementados en el FMECA o también se puede evidenciar falta de controles preventivos.

El resultado del RCA radica en implementar acciones para evitar la recurrencia de las fallas.⁶²

Para ilustrar la metodología RCA se muestra el siguiente ejemplo de aplicación real:

El día 02 de agosto de 2010 la máquina de Soldar marca Infra de código interno Nº 21 se encontraba operando en el sitio de ejecución de una obra en Astidique. La máquina operó normalmente durante las primeras horas de trabajo pero luego no siguió operando.

Al llevar este equipo al centro de reparación se detectó que la bobina secundaria de esta máquina se encontraba en cortocircuito.

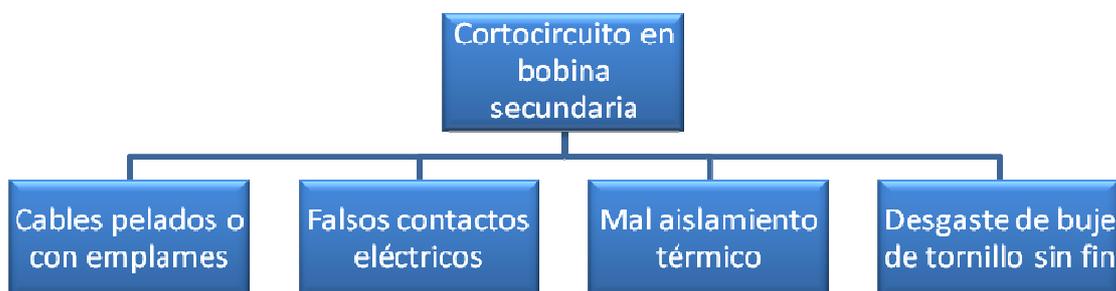
Para establecer la causa raíz del problema se conformó un equipo de trabajo integrado por las siguientes personas:

- ✓ Electricista de la obra
- ✓ Electricista de Planta
- ✓ Jefe de mantenimiento
- ✓ Proveedor de servicios de reparación de Inser Ltda
- ✓ Ing. Consultor en RC

⁶² Fuente: Ingeniero Gonzalo Cardozo. Monografías Especialización Producción y Calidad. Modulo Confiabilidad.

Paso 1. Establecer posibles causas del modo de falla

Se identificó cual fue el componente que produjo la falla y se elaboro una lista de las posibles causas que podrían generar que una bobina secundaria se quemara y se obtuvo el siguiente resultado:

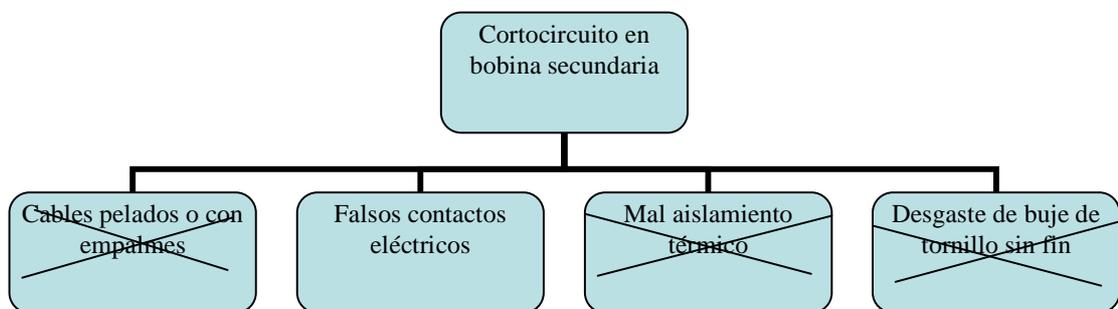


Paso 2. Determinar las causas físicas de la falla a nivel de los componentes

Una vez identificadas las posibles causas se evaluaron cada una de ellas para dar con la que realmente ocasionó el problema y se obtuvo el siguiente resultado.

- ✓ Cables pelados o con empalmes: Se realizó una inspección física en el sitio de la obra del estado de los cables (positivo y negativo) con que la máquina estaba trabajando y se detectó que el recubrimiento estaba en buen estado que la continuidad era la correcta, por lo que se descarta como posible causa.
- ✓ Mal Aislamiento térmico: Se revisó en aislamiento de la bobina y se encontró en buenas condiciones, por lo que se descarta como posible causa.
- ✓ Desgaste de buje de tornillo sin fin: Se revisó el estado del buje que soporta el tornillo sin fin y se encontró en buenas condiciones, por lo que se descarta como posible causa.

- ✓ Falsos contacto eléctrico: Se verificaron los puntos de contacto eléctrico y se detectó que el punto de contacto eléctrico entre el Dámper y el Bobina secundaria se encontraba sulfatado, por lo tanto se determina que esta es la principal causa física de la falla ya que este falso contacto hace que el equipo sufra perdidas de potencia y se recaliente ocasionando el corto circuito.



Paso 3. Determinar las Fallas humanas

Al verificar los registros de mantenimiento del Equipo en mesion, se encontró que no se evidenciaba la revisión de los puntos de contacto eléctrico de la maquina.

Paso 4. Determinar las Fallas administrativas o del proceso

Se verificaron los registros de calibración de equipo y se detectó que su certificado de calibración había expirado hace más de 2 meses

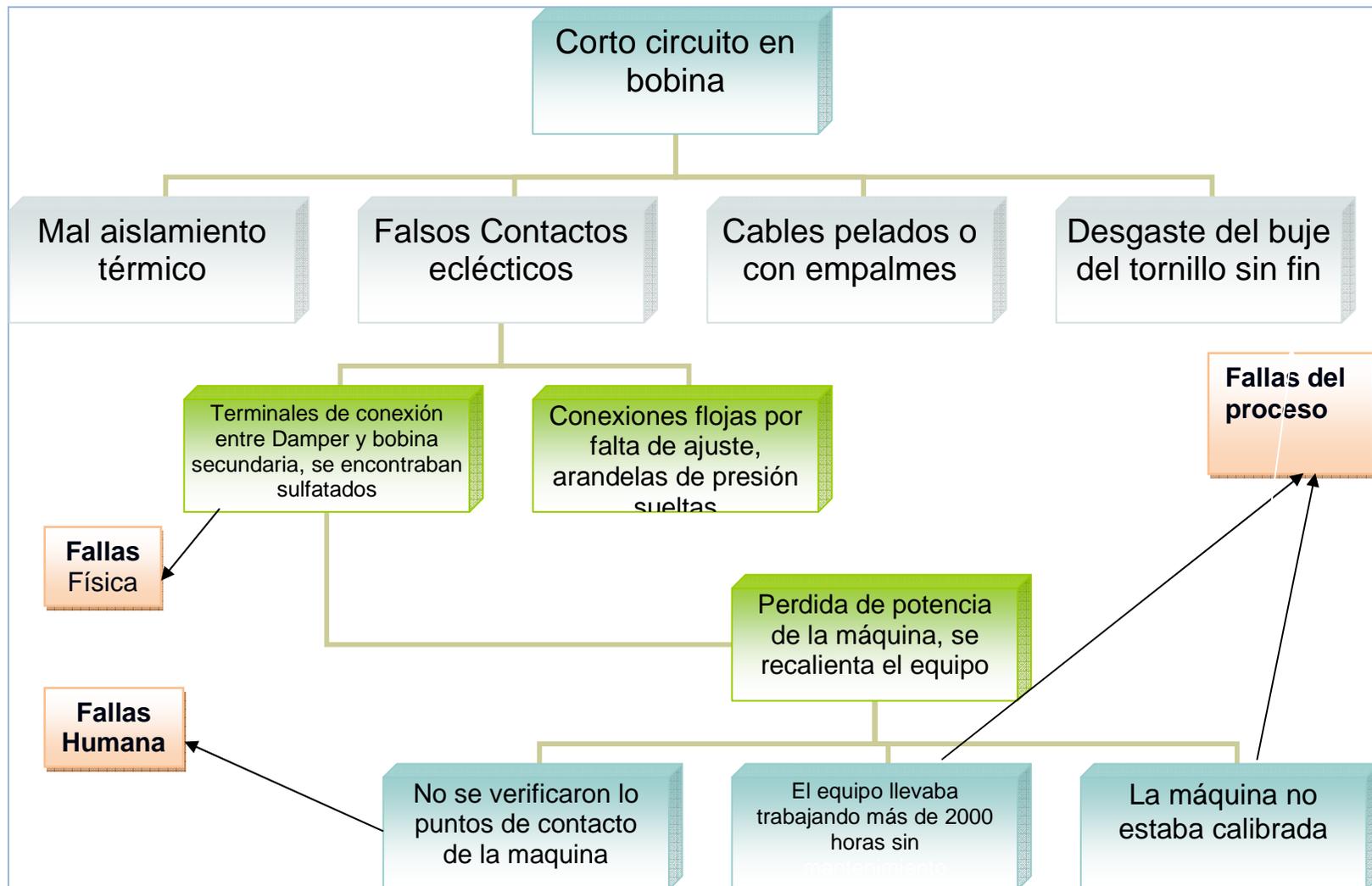
Se verificó la trazabilidad de la máquina y se detectó que la maquina llevaba un total de 2340 horas de trabajo continuo sin mantenimiento

Paso 5. Determinación de la Causa Raíz

La empresa no se lleva un control de horas trabajadas a las maquinas que sirva para establecer una rotación de trabajo

No está estipulado realizar un mantenimiento preventivo por horas de trabajo sino que es por periodos de tiempo
No hay una lista de verificación estandarizada para la ejecución de los mantenimientos preventivos.

Figura Nº 15. Diagrama de árbol RCA



3.3 Planes de acción para la mejora de la confiabilidad de los equipos

3.3.1 Acciones Generales

Tabla N° 25. Acciones Generales

Acciones a tomar	Responsable	Fecha
Conformación de grupos de trabajo para el desarrollo de la Gestion de confiabilidad (<i>Jefe de mantenimiento, Electricista de obra, electricista de patio, Ingenieros Residentes y Directores de proyecto</i>)	Jefe de mantenimiento	20-Sep-10
Formación en FMECA al grupo de trabajo	Jefe de Recursos humanos	25-Oct-10
Formación en RCA al grupo de trabajo	Jefe de Recursos humanos	11-Nov-10
Establecer una estructura informática que permita realizar un control estadístico de fallas para los equipos críticos con el fin de evaluar el comportamiento de los indicadores de confiabilidad	Jefe de mantenimiento	23-Sep-10
Diseño de mecanismo para la emisión de ordenes de Análisis de causa raíz (ver Anexo 14)	Jefe de mantenimiento	20-Sep-10
Adquisición de software especializado para realizar seguimiento a las fallas, Calcular y monitorear la confiabilidad a través del tiempo por medio de Distribución de Weibull	Gerente	23-Sep-10
Formación al grupo de trabajo aplicación del Software y distribución de Weibull	Jefe de Recursos humanos	11-Nov-10
Institucionalizar reuniones mensuales para revisar los avances de la confiabilidad de los equipos	Gerente	11-Nov-10

3.3.2 Acciones encaminadas a mejorar la confiabilidad de las Máquinas de Soldar

Tabla N° 26. Acciones Encaminadas a mejorar la confiabilidad de las máquinas de soldar

Acciones a tomar	Responsable	Fecha
Crear un control de horas trabajadas de los equipos de soldar. Realizar rotación de equipos una vez cumplan su Tiempo medio entre fallas	Jefe de mantenimiento	21-Sep-10
Reajustar de la frecuencia de los mantenimientos de acuerdo al tiempo medio de fallas.	Jefe de mantenimiento	24-Sep-10
Incorporar nuevas actividades de mantenimiento de acuerdo a los resultados del FMECA (ver programa actual VS programa mejorado, Anexo 5 y 6)	Jefe de mantenimiento	24-Sep-10
Diseño de lista de chequeo preoperacional para el operador del equipo (Ver anexo 7)	Jefe de mantenimiento	24-Sep-10
Protección de los cables de soldar mediante enrutamiento para evitar que pierda su revestimiento	Jefe de mantenimiento	11-Nov-10
Instalar sensor de temperatura que dispare la maquina cuando esta sobre pase los 60 grados	Jefe de mantenimiento	14-Oct-10
Utilizar materiales como Barniz dieléctrico Gliptal y fibra Americana para realizar recubrimiento y garantizar un mejor aislamiento	Jefe de mantenimiento	11-Nov-10

3.3.3 Acciones encaminadas a mejorar la confiabilidad de los Compresores

Tabla N° 27. Acciones Encaminadas a mejorar la confiabilidad de los compresores

Acciones a tomar	Responsable	Fecha
Diseño de lista de chequeo diaria para compresor con el fin de asegurar que las condiciones en que se va a operar el equipo sean las mas adecuadas (ver anexo 10)	Jefe de mantenimiento	24-Sep-10
Reajuste de programa de mantenimiento de compresor (ver programa actual VS programa mejorado, Anexo 8 y 9)	Jefe de mantenimiento	24-Sep-10

3.3.4 Acciones encaminadas a mejorar la confiabilidad de las Plantas eléctricas

Tabla N° 28. Acciones Encaminadas a mejorar la confiabilidad de las Planta Eléctricas

Acciones a tomar	Responsable	Fecha
Diseño de lista de chequeo diaria para planta eléctrica con el fin de asegurar que las condiciones en que se va a operar el equipo sean las más adecuadas (ver anexo 13)	Jefe de mantenimiento	24-Sep-10
Reajuste de programa de mantenimiento Planta Eléctrica (ver programa actual VS programa mejorado, Anexo 11 y 12)	Jefe de mantenimiento	24-Sep-10

3.4 Descripción y evaluación del impacto de adoptar y perpetuar el uso de las metodologías RCA y FMECA en la empresa Inser Ltda.

3.4.1 Beneficios

La adopción de FMECA y RCA en la Compañía podría traer como consecuencia los siguientes beneficios:

Beneficios Tangibles:

- ✓ Mayor disponibilidad de los equipos
- ✓ Mayor nivel de prevención de fallas
- ✓ Adopción de mecanismos de detección de fallas
- ✓ Mayor tiempo entre fallas
- ✓ Reducción de costos de mantenimiento
- ✓ Reducción de costos de alquiler
- ✓ Menor probabilidad de retrasos en la entrega de proyectos.
- ✓ Todos los datos estarán centralizados en una sola base de datos.

Beneficios Intangibles:

- ✓ Fomenta el trabajo en equipo.
- ✓ Conservación de los equipos
- ✓ Facilita la toma de decisiones para determinar Acciones Correctivas y preventivas

3.4.2 Impacto económico de la mejora de la disponibilidad

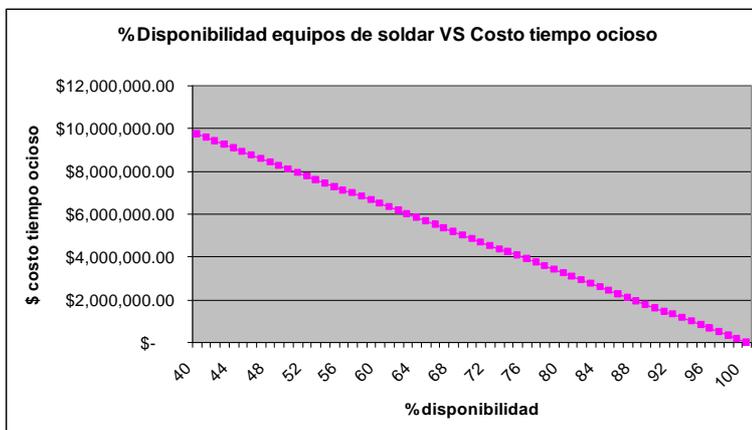
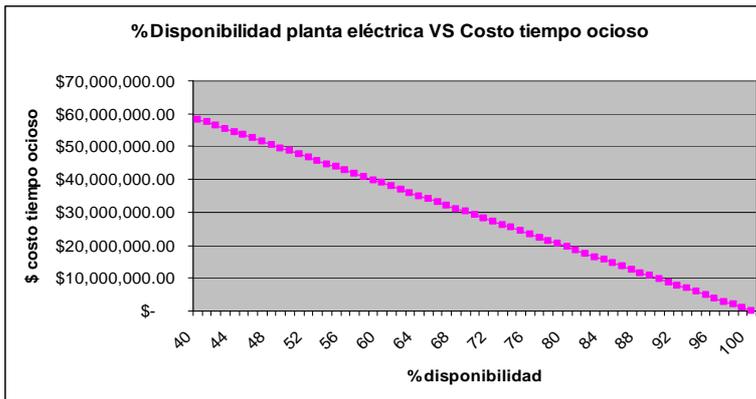
Para evaluar el impacto económico de la mejora de la disponibilidad de los equipos crítico se elaboró la siguiente tabla. En ella se puede concluir que el costo de tiempo ocioso se reduce a medida que la disponibilidad se acerca a 100%:

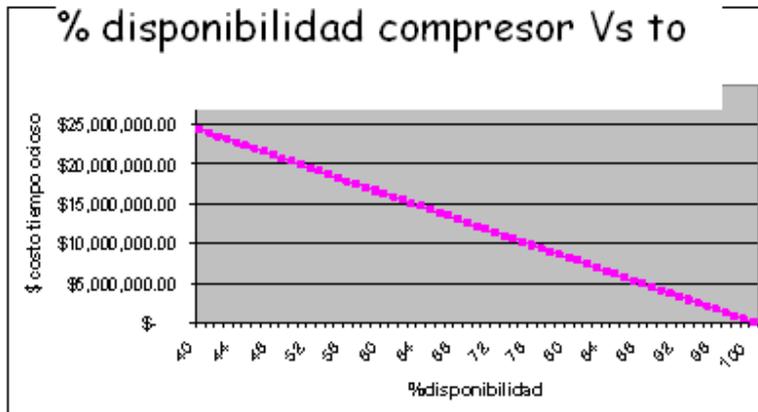
Tabla 29. Porcentaje Disponibilidad VS Costo tiempo

Horas por fuera de servicio	Horas de operación	Disponibilidad (%)	Costo tiempo ocioso maquina de soldar (costo unitario \$ 20000)	Costo tiempo ocioso planta eléctrica (costo unitario \$ 120000)	Costo tiempo ocioso compresor (costo unitario \$ 50000)
332.1	477.9	59	\$ 6,642,000.00	\$ 39,852,000.00	\$ 16,605,000.00
324	486	60	\$ 6,480,000.00	\$ 38,880,000.00	\$ 16,200,000.00
315.9	494.1	61	\$ 6,318,000.00	\$ 37,908,000.00	\$ 15,795,000.00
307.8	502.2	62	\$ 6,156,000.00	\$ 36,936,000.00	\$ 15,390,000.00
299.7	510.3	63	\$ 5,994,000.00	\$ 35,964,000.00	\$ 14,985,000.00
291.6	518.4	64	\$ 5,832,000.00	\$ 34,992,000.00	\$ 14,580,000.00
283.5	526.5	65	\$ 5,670,000.00	\$ 34,020,000.00	\$ 14,175,000.00
275.4	534.6	66	\$ 5,508,000.00	\$ 33,048,000.00	\$ 13,770,000.00
267.3	542.7	67	\$ 5,346,000.00	\$ 32,076,000.00	\$ 13,365,000.00
259.2	550.8	68	\$ 5,184,000.00	\$ 31,104,000.00	\$ 12,960,000.00
251.1	558.9	69	\$ 5,022,000.00	\$ 30,132,000.00	\$ 12,555,000.00
243	567	70	\$ 4,860,000.00	\$ 29,160,000.00	\$ 12,150,000.00
234.9	575.1	71	\$ 4,698,000.00	\$ 28,188,000.00	\$ 11,745,000.00
226.8	583.2	72	\$ 4,536,000.00	\$ 27,216,000.00	\$ 11,340,000.00
218.7	591.3	73	\$ 4,374,000.00	\$ 26,244,000.00	\$ 10,935,000.00
210.6	599.4	74	\$ 4,212,000.00	\$ 25,272,000.00	\$ 10,530,000.00
202.5	607.5	75	\$ 4,050,000.00	\$ 24,300,000.00	\$ 10,125,000.00
194.4	615.6	76	\$ 3,888,000.00	\$ 23,328,000.00	\$ 9,720,000.00
186.3	623.7	77	\$ 3,726,000.00	\$ 22,356,000.00	\$ 9,315,000.00
178.2	631.8	78	\$ 3,564,000.00	\$ 21,384,000.00	\$ 8,910,000.00
170.1	639.9	79	\$ 3,402,000.00	\$ 20,412,000.00	\$ 8,505,000.00
162	648	80	\$ 3,240,000.00	\$ 19,440,000.00	\$ 8,100,000.00
153.9	656.1	81	\$ 3,078,000.00	\$ 18,468,000.00	\$ 7,695,000.00
145.8	664.2	82	\$ 2,916,000.00	\$ 17,496,000.00	\$ 7,290,000.00
137.7	672.3	83	\$ 2,754,000.00	\$ 16,524,000.00	\$ 6,885,000.00
129.6	680.4	84	\$ 2,592,000.00	\$ 15,552,000.00	\$ 6,480,000.00
121.5	688.5	85	\$ 2,430,000.00	\$ 14,580,000.00	\$ 6,075,000.00
113.4	696.6	86	\$ 2,268,000.00	\$ 13,608,000.00	\$ 5,670,000.00
105.3	704.7	87	\$ 2,106,000.00	\$ 12,636,000.00	\$ 5,265,000.00
97.2	712.8	88	\$ 1,944,000.00	\$ 11,664,000.00	\$ 4,860,000.00
89.1	720.9	89	\$ 1,782,000.00	\$ 10,692,000.00	\$ 4,455,000.00
81	729	90	\$ 1,620,000.00	\$ 9,720,000.00	\$ 4,050,000.00

72.9	737.1	91	\$ 1,458,000.00	\$ 8,748,000.00	\$ 3,645,000.00
64.8	745.2	92	\$ 1,296,000.00	\$ 7,776,000.00	\$ 3,240,000.00
56.7	753.3	93	\$ 1,134,000.00	\$ 6,804,000.00	\$ 2,835,000.00
48.6	761.4	94	\$ 972,000.00	\$ 5,832,000.00	\$ 2,430,000.00
40.5	769.5	95	\$ 810,000.00	\$ 4,860,000.00	\$ 2,025,000.00
32.4	777.6	96	\$ 648,000.00	\$ 3,888,000.00	\$ 1,620,000.00
24.3	785.7	97	\$ 486,000.00	\$ 2,916,000.00	\$ 1,215,000.00
16.2	793.8	98	\$ 324,000.00	\$ 1,944,000.00	\$ 810,000.00
8.1	801.9	99	\$ 162,000.00	\$ 972,000.00	\$ 405,000.00
0	810	100	\$ -	\$ -	\$ -

Figura N° 16. Porcentaje de disponibilidad VS tiempo ocioso





3.4.3 Costos del proyecto

Tabla N° 30. Costos Asociados al proyecto

Costos de formación

	V. Unitario / hora	N° de horas	V. total
Consultaría RCA	\$65,000.00	30	\$1,950,000.00
Consultaría FEMECA	\$65,000.00	30	\$1,950,000.00
Consultoría Distribución de Weibul	\$65,000.00	30	\$1,950,000.00
			\$5,850,000.00

Costos adquisición de recursos

Recurso	Cantidad	Costo	Costo total
Adquisición de Software	1	\$2.000.000	\$ 2,000,000.00
Sensor de temperatura para la maquina de soldar	4	400000	\$ 1,600,000.00
			\$ 3,600,000.00

Costo total del proyecto= 9.450.000

3.5 Guía para la implementación del proyecto en la empresa

Se elaboró un cronograma de actividades para establecer una guía práctica para implementar este proyecto en la empresa mediante el modelo de Gestión PHVA.

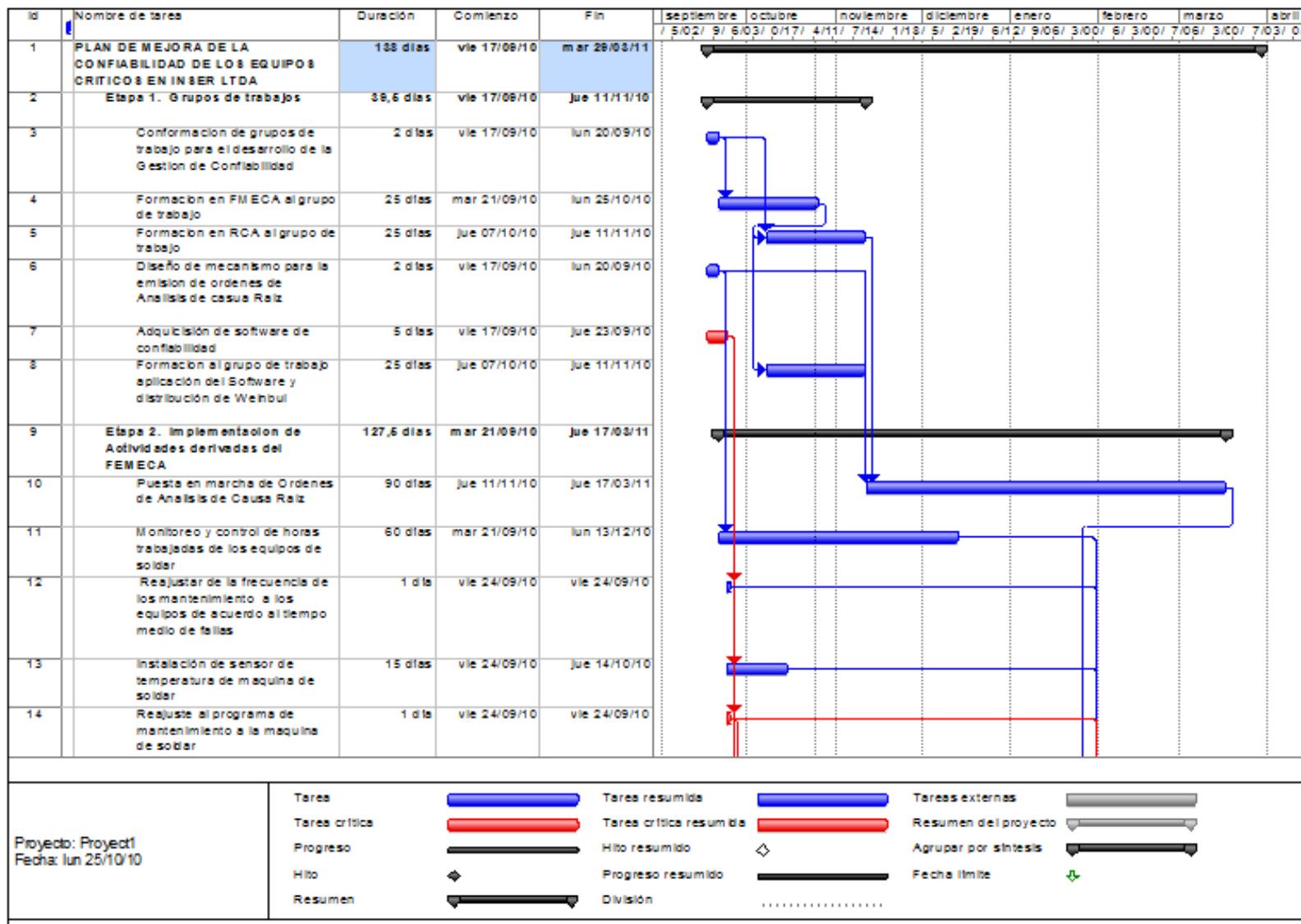
En ella se establecen 4 etapas:

Etapa 1. Planear – Conformación de grupos de trabajo y formación del mismo

Etapa 2. Hacer – Implementación de las Actividades generadas mediante el FMECA y RCA.

Etapa 3. Verificar - Monitoreó y control

Etapa 4. Actuar – Evaluación de los índices de confiabilidad



id	Nombre de tareas	Duración	Comienzo	Fin	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	enero	febrero	marzo	abril
					/ 5/02/ 9/ 6/03/ 0/17/ 4/11/ 7/14/ 1/18/ 5/ 2/19/ 6/12/ 9/06/ 3/00/ 6/ 3/00/ 7/06/ 3/00/ 7/03/ 0/							
15	Reajuste al programa de mantenimiento a compresor	1 día	vie 24/09/10	vie 24/09/10								
16	Reajuste al programa de mantenimiento a planta eléctrica	1 día	vie 24/09/10	vie 24/09/10								
17	Aplicación de los nuevos programas de mantenimiento preventivo	90 días	lun 27/09/10	vie 28/01/11								
18	Implementación de listas de chequeo diarias	30 días	vie 24/09/10	jue 04/11/10								
19	Etapa 3 Monitoreo y control	40 días	lun 31/01/11	vie 26/03/11								
20	Reunion mensual revisión y auditoria a actividades establecidas en los planes de acción	9 días	lun 31/01/11	mar 22/03/11								
21	Evaluación de resultados de co	3 días	mié 23/03/11	vie 25/03/11								
22	Reajustes a programas de mantenimiento según RCA	1 día	lun 31/01/11	lun 31/01/11								
23	Etapa 4. Evaluación de Confiabilidad	6 días	mié 23/03/11	mar 28/03/11								
24	Reajustes de programas de mantenimiento	3 días	mié 23/03/11	vie 25/03/11								
25	Elaboración de planes de acción	2 días	lun 28/03/11	mar 29/03/11								

CONCLUSIONES

- ✓ Una de las políticas que desde sus inicios la Empresa Inser Ltda. ha venido implementado a nivel financiero es el fortalecimiento de su infraestructura física y tecnológica a través de la inversión en nuevas Tecnologías que ha colocado a la empresa como una de los líderes en el sector Metalmecánico en Cartagena. La confiabilidad de los equipos a medida que la empresa se ha fortalecido tecnológicamente constituye un elemento que va acorde con las estrategias corporativas de la empresa.

- ✓ La empresa a través de la adquisición de nuevas Tecnologías ha permitido aumentar capacidad de producción, aumentar cobertura de frentes de trabajo abrir nuevas rutas de mercado lo que ha permitido ampliar el portafolio de servicios

- ✓ Después de haber realizado el diagnóstico de los equipos a través de las herramientas estadísticas como la Distribución de frecuencia y los Diagramas de Pareto, obtenemos que desde el punto de vista estratégico y operativo los equipos más críticos son: Las Maquina de soldar, los Compresores y las Plantas eléctricas; ya que estos equipos son los que han repercutido mayormente en los costos y en el número de fallos y por lo tanto es a estos rubros donde se deben concertar las acciones de mejora.

- ✓ Existe una gran brecha entre la Gestión de mantenimiento Actual y una Gestión de mantenimiento Centrado en Confiabilidad ya que es evidente que la empresa presenta deficiencias en cuanto a la estructura informática, Competencia del personal y confiabilidad de los procesos. Para cerrar esta brecha se debe implementar los planes de acción propuestos.

- ✓ Los programas de mantenimiento que han permanecido estáticos durante varios años, ahora e ven obligados a reestructurarse gracias a las acciones derivadas del FEMECA y de RCA.

- ✓ Las acciones derivadas de los FEMECA aplicados a máquinas de soldar, Compresores y Plantas eléctricas contribuirían a mejorar el RPN (índice prioritario de riesgo) en un 81.1 % para las máquinas de Soldar, en un 80.1% para los compresores y en un 80.6% para las Plantas eléctricas.

- ✓ La formación del personal en cuanto a FEMECA y RCA el control y monitoreo de los indicadores de confiabilidad y el trabajo en equipo, son factores claves para que se propician el éxito de una Gestión de Mantenimiento Centrada en Confiabilidad.

BIBLIOGRAFÍA

LIBROS

- ✓ Herramientas estadísticas básicas para el mejoramiento de la calidad, Hitoshi Kume. Editorial Norma
- ✓ Introduction to Reliability Engineering. E. E. LEWIS, Second Edition.
- ✓ Reliability and Risk Anaysis. M. Modarres. MARCEL DEKKER INC
- ✓ Fiabilidad Seguridad. Antonio Creus. BOLXAREU EDITORES.
- ✓ Introducción al TPM, Seiichi Nakajima.
- ✓ Monografías estadísticas aplicadas a la confiabilidad, Gonzalo Cardozo

TESIS DE GRADO

Diseño de un libro practico de apoyo académico para el proceso de Confiabilidad Industrial. KELYNETH JIMÉNEZ, VANESA VASQUEZ. DIRECTOR : GONZALO CARDOZO.

PAGINAS WEB

www.reliability.com
www.tpm.com
www.aptools.co.uk
www.soporteycia.com.co
www.aladon.com
www.nd-solutions.com
www.myplant.com
www.availability.com
www.apl.com

Anexo 1. Calculo de MTBF máquina de soldar Hobart mediante distribución de Weibull

CALCULO DE MTBF MEDIANTE DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL MAQUINA DE SOLDAR

PRIMER PASO

ORDENAMIENTO DE LOS DATOS:

N° de fallas	tiempo entre fallas
1	817
2	898
3	1227
4	4034

SEGUNDO PASO

MEDIANAS D E LOS TIEMPOS DE FRACASO

$$MR \% = F(t_i) = \frac{i - 0.3}{N + 0.4} * 100$$

con:

i = posición de la falla en el orden establecido (1 - 4)
 N = tamaño muestra de fallas = 4

N° de fallas	tiempo entre fallas	MR O F (MEDIANA)
1	817	15,90909091
2	898	38,63636364
3	1227	61,36363636
4	4034	84,09090909

TERCER PASO

REGRESIÓN LINEAL SOBRE F(T)

$$y_i = \ln(-\ln(1 - F(t_i)))$$

$$x_i = \ln(t_i)$$

Nº de fallas	tiempo entre fallas	MRO F (MEDIANA)	Y	X	XY	X ²
1	617,000	15,909	-1,753	6,425	-11,262	41,279
2	696,000	38,636	-0,717	6,545	-4,691	42,842
3	1227,000	61,364	-0,050	7,112	-0,358	50,585
4	4034,000	84,091	0,609	8,303	5,055	68,932
Sumatorias			-1,911	28,385	-11,256	203,637

CUARTO PASO

CALCULO A Y B:

$$a = \frac{\sum x^2 \sum y - \sum x \sum xy}{n \sum x^2 - (\sum x)^2}$$

$$b = \beta = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2}$$

Entonces: $y = a + bx$ es igual a $y = -7,8815 + 1,0433x$

$a = -7,88154973$

$b = 1,043336616$

QUINTO PASO

De manera que:

$$\beta = b$$

$$\eta = e^{-\frac{a}{\beta}}$$

$\beta = 1,043336616$

$\eta = 1908,708807$

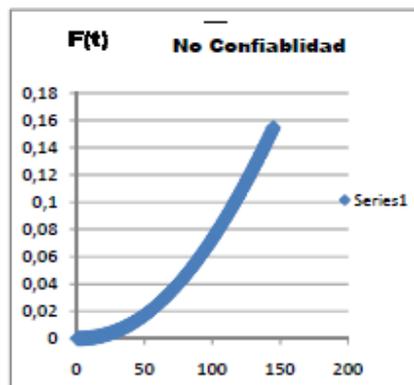
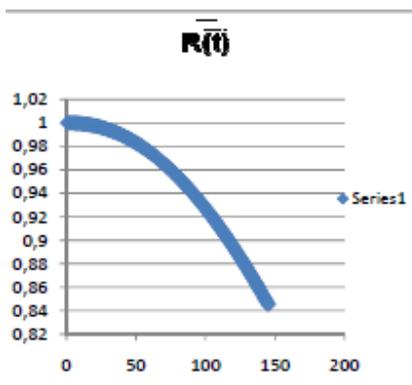
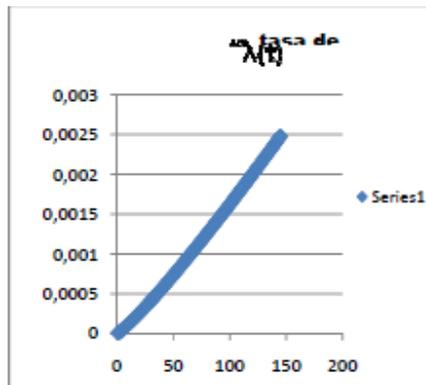
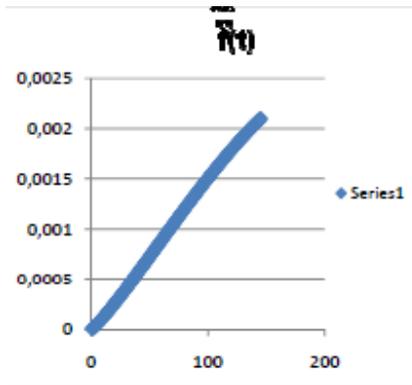
$$R(T) = e^{-\left(\frac{T}{\eta}\right)^\beta}$$

MTBF/ η	0,5951017
MTBF	1135,875856

Este dato se extraen de la tabla de distribución de Weibul (ver anexo 4)

η	β
1908,708807	1,043336616

T	R(t)	F(t)	f(t)	$\lambda(t)$
	$R(t) = \exp(-t/\eta)^\beta$	$F(t; \beta; \eta)$	$F(t; \beta; \eta)$	
1	0,999622426	0,000377574	0,000393862	0,00039401
2	0,99922198	0,00077802	0,00040571	0,00040603
3	0,998812526	0,001187474	0,000412733	0,00041322
4	0,998397171	0,001602829	0,000417737	0,00041841
5	0,997977421	0,002022579	0,000421619	0,00042247
6	0,99755417	0,00244583	0,000424783	0,00042582
7	0,997128019	0,002871981	0,000427448	0,00042868
8	0,996699397	0,003300603	0,000429744	0,00043117
9	0,996268626	0,003731374	0,000431756	0,00043337
10	0,995835959	0,004164041	0,000433544	0,00043536
11	0,995401599	0,004598401	0,000435148	0,00043716
12	0,994965713	0,005034287	0,000436601	0,00043881
13	0,99452844	0,00547156	0,000437926	0,00044033
14	0,994089898	0,005910102	0,000439141	0,00044175
15	0,99365019	0,00634981	0,000440261	0,00044307
16	0,993209404	0,006790596	0,000441298	0,00044432
17	0,992767618	0,007232382	0,000442262	0,00044548
1155	0,553169676	0,446830324	0,000295862	0,00053485
1156	0,552873887	0,447126113	0,000295715	0,00053487
1157	0,552578246	0,447421754	0,000295568	0,00053489



Anexo 2. Calculo de MTBF compresor Sullair mediante distribución de Weibull

CALCULO DE MTBF MEDIANTE DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL COMPRESOR

PRIMER PASO

ORDENAMIENTO DE LOS DATOS:

N° de fallas	tiempo entre fallas
1	189
2	311
3	503
4	529
5	625
6	725
7	930
8	1269
9	1391
10	1423

SEGUNDO PASO

$$MR \% = F(t_i) = \frac{i - 0.3}{N + 0.4} * 100$$

MEDIANAS D E LOS TIEMPOS DE FRACASO

N° de fallas	tiempo entre fallas	MR O F (MEDIANA)
		$MR\% = \frac{i - 0.3}{N + 0.4} * 100$
1	189	6,73
2	311	16,35
3	503	25,96
4	529	35,58
5	625	45,19
6	725	54,81
7	930	64,42
8	1269	74,04
9	1391	83,65
10	1423	93,27

con: i = posición de la falla en el orden establecido (1 - 10)
 N = tamaño muestra de fallas = 10

TERCER PASO

REGRESIÓN LINEAL SOBRE F(T)

$$y_i = \ln(-\ln(1 - F(t_i)))$$

$$x_i = \ln(t_i)$$

Nº de fallas	tiempo entre fallas	MROF (MEDIANA)	Y	X	XY	X2	Y2
1	189	6,73	-2,663843085	5,241747015	-13,96319154	27,47591177	7,096059984
2	311	16,35	-1,72326315	5,739792912	-9,891173616	32,94522267	2,969635885
3	503	25,96	-1,202023115	6,22059017	-7,477293175	38,69574206	1,44485957
4	529	35,58	-0,821666515	6,270988432	-5,152661211	39,32529591	0,675135862
5	625	45,19	-0,508595394	6,43775165	-3,274210835	41,4446463	0,258669275
6	725	54,81	-0,230365445	6,586171655	-1,517226362	43,37765707	0,053068238
7	930	64,42	0,032924962	6,835184586	0,225048192	46,71974833	0,001084053
8	1269	74,04	0,299032932	7,145984468	2,136884686	51,06509401	0,089420694
9	1391	83,65	0,593977217	7,237778192	4,299075345	52,38543316	0,352808934
10	1423	93,27	0,992688929	7,260522598	7,207440405	52,7151884	0,985431311
Sumatorias			-5,231	64,977	-27,407	426,150	13,92617381

CUARTO PASO
CALCULO A Y B:

$$a = -11,33727463$$

$$b = 1,664318549$$

$$a = \frac{\sum x^2 \sum y - \sum x \sum xy}{n \sum x^2 - (\sum x)^2}$$

$$b = \beta = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2}$$

Entonces: $y = a + bx$ es igual a

$$y = -11,33 + 1,664x$$

QUINTO PASO

De manera que:

$$\beta = b$$

$$\eta = e^{-\frac{a}{\beta}}$$

$$\beta = 1,664318549$$

$$\eta = 908,6517895$$

$$R(T) = e^{-\left(\frac{T}{\eta}\right)^\beta}$$

MTBF/η	0,896
MTBF	814,1520034

Este dato se extraen de la tabla de distribución de Weibul (ver anexo 4)

η	β
908,6517895	1,664318549

T	$R(t)$	$F(t)$	$f(t)$	$\lambda(t)$
	$R(t) = \exp(-t/\eta)$	$f(t; \text{beta}; n)$	$F(t; \text{beta}; n)$	
1	0,99998808	1,19201E-05	1,98388E-05	1,9839E-05
2	0,999962218	3,77821E-05	3,14401E-05	3,14413E-05
3	0,999925809	7,41908E-05	4,11575E-05	4,11605E-05
4	0,999880249	0,000119751	4,98228E-05	4,98288E-05
5	0,999826398	0,000173602	5,77809E-05	5,77909E-05
6	0,999764861	0,000235139	6,52167E-05	6,5232E-05
7	0,9996961	0,0003039	7,22442E-05	7,22662E-05
8	0,999620483	0,000379517	7,89397E-05	7,89696E-05
9	0,999538313	0,000461687	8,53574E-05	8,53968E-05
10	0,999449847	0,000550153	9,15377E-05	9,15881E-05
11	0,999355306	0,000644694	9,75118E-05	9,75747E-05
12	0,999254884	0,000745116	0,000103304	0,000103381
13	0,999148752	0,000851248	0,000108934	0,000109027
14	0,999037065	0,000962935	0,000114419	0,000114529
15	0,998919959	0,001080041	0,000119771	0,0001199
16	0,998797563	0,001202437	0,000125002	0,000125153
17	0,998669992	0,001330008	0,000130123	0,000130296
18	0,998537352	0,001462648	0,000135141	0,000135339
19	0,998399743	0,001600257	0,000140063	0,000140288
810	0,437838853	0,562161147	0,000743011	0,001696997
811	0,437096167	0,562903833	0,000742359	0,001698389
812	0,436354135	0,563645865	0,000741706	0,00169978

Anexo 3. Calculo de MTBF Planta eléctrica Modasa mediante distribución de Weibull

CALCULO DE MTBF MEDIANTE DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL PLANTA ELECTRICA

PRIMER PASO

ORDENAMIENTO DE LOS DATOS:

N° de fallas	tiempo entre fallas
1	360
2	745
3	1130
4	1178
5	1419
6	1678
7	1679

SEGUNDO PASO

$$MR \% = F(t_i) = \frac{i - 0.3}{N + 0.4} * 100$$

MEDIANAS DE LOS TIEMPOS DE FRACASO

N° de fallas	tiempo entre fallas	MR O F (MEDIANA)
		$MR\% \sim \frac{i - 0.3}{N + 0.4} \cdot 100$
1	360	9,46
2	745	22,97
3	1130	36,49
4	1178	50,00
5	1419	63,51
6	1678	77,03
7	1679	90,54

TERCER PASO

REGRESIÓN LINEAL SOBRE F(T)

$$y_i = \ln(-\ln(1 - F(t_i)))$$

$$x_i = \ln(t_i)$$

N° de fallas	tiempo entre fallas	MR O F (MEDIANA)	Y	X	XY	X ²	Y ²
1	360	9,46	-2,308880127	5,88610403	-13,59030862	34,64622067	5,330927441
2	745	22,97	-1,343181902	6,61338422	-8,882977995	43,73685082	1,804137623
3	1130	36,49	-0,789839834	7,02997291	-5,552552639	49,42051914	0,623846964
4	1178	50,00	-0,366512921	7,06987413	-2,591200215	49,98312019	0,134331721
5	1419	63,51	0,00819456	7,25770768	0,05947372	52,67432073	6,71508E-05
6	1678	77,03	0,385841654	7,42416528	2,864552213	55,11823012	0,148873782
7	1679	90,54	0,85787951	7,42595366	6,370573484	55,14478772	0,735957254
Sumatorias			-3,556	48,707	-21,322	340,724	8,778141935

CUARTO PASO
CALCULO A Y B:

a = -13,66082962

b = 1,890262227

$$a = \frac{\sum x^2 \sum y - \sum x \sum xy}{n \sum x^2 - (\sum x)^2}$$

$$b = \beta = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2}$$

Entonces: $y = a + bx$ es igual a

$y = -13,66 + 1,89x$

QUINTO PASO

De manera que:

$$\beta = b$$

$$\eta = e^{-\frac{a}{\beta}}$$

$\beta =$	1,890262227
$\eta =$	1376,01853

$$R(T) = e^{-\left(\frac{T}{\eta}\right)^\beta}$$

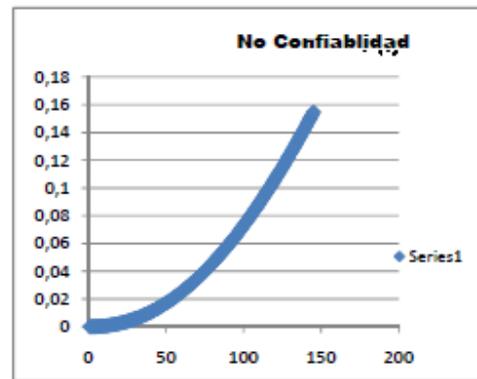
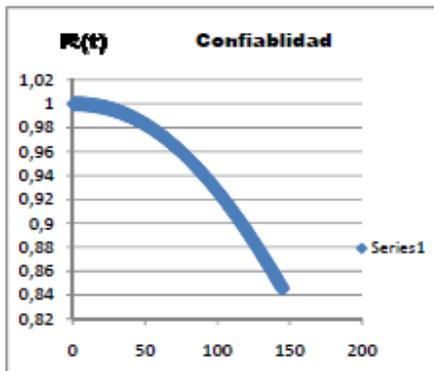
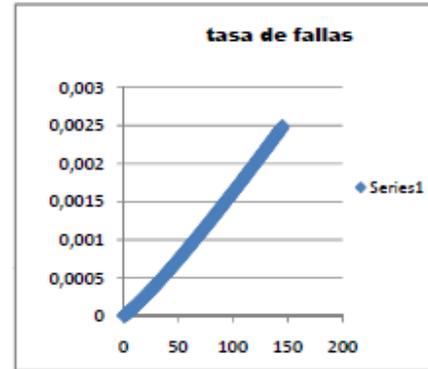
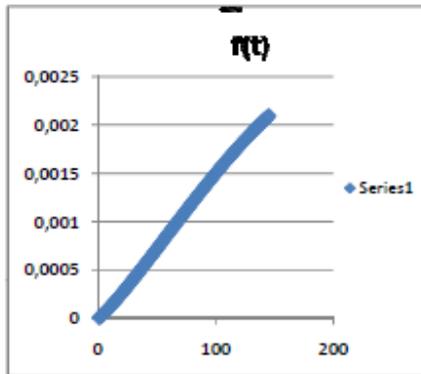
MTBF/ η	0,892628462
MTBF	1228,273304

Este dato se extraen de la tabla de distribución de Weibul (ver anexo 4)

η	β
1376,01853	1,890262227

T R(t) CONFIABILIDAD F(t) No confiabilidad f(t) $\lambda(t)$ Tasa de falla

	$R(t) = \exp - (t / \eta)^\beta$	$f(t; \text{beta}, \eta)$	$F(t; \text{beta}, \eta)$	
1	0,999998833	1,16728E-06	2,20647E-06	2,20648E-06
2	0,999995673	4,32715E-06	4,08971E-06	4,08973E-06
3	0,999990688	9,31235E-06	5,86757E-06	5,86762E-06
4	0,999983959	1,60408E-05	7,58025E-06	7,58037E-06
5	0,999975543	2,44573E-05	9,24603E-06	9,24625E-06
6	0,999965479	3,45207E-05	1,08753E-05	1,08757E-05
7	0,999953802	4,61981E-05	1,24749E-05	1,24755E-05
8	0,999940538	5,94622E-05	1,40495E-05	1,40503E-05
9	0,99992571	7,42899E-05	1,56025E-05	1,56036E-05
10	0,999909339	9,06608E-05	1,71365E-05	1,7138E-05
11	0,999891443	0,000108557	1,86537E-05	1,86557E-05
12	0,999872037	0,000127963	2,01557E-05	2,01583E-05
13	0,999851136	0,000148864	2,16439E-05	2,16472E-05
14	0,999828753	0,000171247	2,31195E-05	2,31235E-05
15	0,999804901	0,000195099	2,45835E-05	2,45883E-05
16	0,99977959	0,00022041	2,60367E-05	2,60424E-05



Anexo 4. Tabla de Weibull.

LEY DE WEIBULL:

$$R(t) = 1 - F(t) = \exp \left[- \left(\frac{t}{\eta} \right)^\beta \right]$$

$$\text{MTBF} = m = E(t) = \eta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right)$$

$$\sigma^2 = \eta^2 \left[\Gamma \left(1 + \frac{2}{\beta} \right) - \Gamma^2 \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \right]$$

β	$m/\eta = \Gamma(1+1/\beta)$	σ/η	β	$m/\eta = \Gamma(1+1/\beta)$	σ/η
0	∞	∞	2,0	0,8862	0,463
0,1	10!	$\sqrt{20! - (10!)^2}$	2,1	0,8857	0,44
0,2	120	1901	2,2	0,8856	0,42
0,3	9,2605	47	2,3	0,8859	0,41
0,4	3,3234	10,43	2,4	0,8865	0,39
0,5	2,0000	4,472	2,5	0,8873	0,38
0,6	1,5046	2,645	2,6	0,8882	0,37
0,7	1,2658	1,851	2,7	0,8893	0,36
0,8	1,1330	1,428	2,8	0,8905	0,34
0,9	1,0522	1,171	2,9	0,8917	0,33
1,0	1,0000	1,000	3,0	0,8938	0,32
1,1	0,9649	0,878	3,1	0,8943	0,315
1,2	0,9407	0,785	3,2	0,8957	0,31
1,3	0,9235	0,716	3,3	0,8970	0,30
1,4	0,9114	0,659	3,4	0,8984	0,29
1,5	0,9028	0,613	3,5	0,8998	0,28
1,6	0,8966	0,594	3,6	0,9011	0,27
1,7	0,8922	0,530	3,8	0,9038	0,26
1,8	0,8893	0,512	4,0	0,9064	0,25
1,9	0,8874	0,488			

Anexo 5. Programa de mantenimiento Maquina de soldar (actual)

Pasos	Actividades	FRECUENCIA
1	Soplar todo el interior de la maquina con aire a presión utilizado para ello un compresor, con el fin de retirar el polvo, arena y/o demás impurezas.	SEMESTRAL
2	Utilizado una pistola de aire a presión, se aplica varsol sobre la superficie interna para completar la limpieza.	
3	Si el equipo presenta desgaste en su aislamiento dieléctrico tanto del transformador como de las bobinas primaria o secundaria, se aplica barniz dialéctico. Previamente al barnizado se debe precalentar la pieza.	
4	Se dejar secar el equipo por un espacio de 6 horas en un horno electrico	
5	Si la carcaza de la maquina presenta corrosión, esta se procede a lijar y se le aplica pintura anticorrosivo y esmalte.	

Anexo 6. Programa de mantenimiento Maquina de soldar (mejorado)

Pasos	Actividades	FRECUENCIA
1	Soplar todo el interior de la maquina con aire a presión utilizado para ello un compresor, con el fin de retirar el polvo, arena y/o demás impurezas.	Según MTBF
2	Utilizado una pistola de aire a presión, se aplica varsol sobre la superficie interna para completar la limpieza.	
3	Si el equipo presenta desgaste en su aislamiento dieléctrico tanto del transformador como de las bobinas primaria o secundaria, se aplica barniz dialéctico. Previamente al barnizado se debe precalentar la pieza. Se debe utilizar barniz dielectrico Gipta	
4	Revisar contactos mecánicos y realizar ajustes de ser necesario	
5	Revisión de puntos de contacto eléctrico de las bobina, bornes, terminales. Reemplazar si se encuentran sulfatados	
6	Aplicación de antiadherente en buje que soporta el sin fin	
7	Se dejar secar el equipo por un espacio de 6 horas en un horno electrico	
8	Si la carcaza de la maquina presenta corrosión, esta se procede a lijar y se le aplica pintura anticorrosivo y esmalte.	

Anexo 7. Lista de chequeo diária Máquina de soldar



INSER LTDA.
INGENIERIA Y SERVICIOS

Lista de chequeo diaria Maquina de soldar

ACTIVIDAD (TRABAJO):	
REF. EQUIPO:	TURNO:
TECNICO:	
FECHA/ HORA:	
ZONA EN LA QUE SE REALIZARA EL TRABAJO:	

ITEM	EQUIPO	B	M	R	CONDICIONES ENCONTRADAS
1	ESTADO GENERAL (Estructura Fisica)				
2	TABLERO TOMA				
3	PUESTA A TIERRA				
4	CABLES DEL EQUIPO				
5	PORTA ELECTRODO				
6	PINZA MASA				
7	CABLES DE ALIMENTACION				
8	CONECTOR				
9	INDICADOR DE ENCENDIDO				
10	SELECTOR DE POLARIDAD				
11	INTERRUPTOR				
12	ENRUTAMIENTO DE CABLES				

Anexo 8. Programa de mantenimiento Compresor (actual)

PARTES DEL COMPRESOR	MENSUAL	3 MESES	6 MESES	12 MESES
		250 HORAS	500 HORAS	1000 HORAS
Apretar las tuercas de las ruedas	C			
Revisar las mangueras de aire y aceite	C			
Probar el apagado automatico del sistema	C			
Limpiar el sistema de aire	C	LIMPIAR		
Limpiar el radiador del motor	C	LIMPIAR		
Reemplazar los elementos limpiadores del aire motor			R	R
Reemplazar los elementos limpiadores del aire compresor			R	
Reemplazar elementos separador de agua/combustible			R	
Reemplazar los elementos del filtro de aceite COMPRESOR			R	
Reemplazar aceite del compresor			R	
Cambiar el aceite del motor		R	R	R
Cambiar el filtro del motor		R	R	R
Reemplazar los elementos del filtro de combustible			R	
Revisar el refrigerante del motor			C	
Reemplazar el refrigerante del motor			C	R
Revisar y ajustar las valvulas de inyeccion				C
Probar el apagado de los Switch				C
Reemplazar el elemento separador de aceite				R

Convenciones: C: Chequear

Anexo 9. Programa de mantenimiento Compresor (mejorado)

	DIARIO	SEMANAL	MENSUAL	3 MESES	6 MESES	12 MESES
PARTES DEL COMPRESOR				250 HORAS	500 HORAS	1000 HORAS
Revisar el nivel de aceite del compresor	C					
Revisar el nivel de aceite del motor	C					
Revisar el nivel de refrigerante del radiador	C					
Revisar Medidores y luces del tablero	C					
Limpiar el servicio de aire	C					
Revisar el tanque de combustible (llenar al final del día)	C					
Revisar el separador de drenaje de agua/combustible	C					
Revisar fugas de aceite	C					
Revisar fugas de combustible	C					
Existencia de vertederos de agua cercanos al equipo	D					
Drenar el filtro agua/ combustible	Drenar					
Revisar fugas de refrigerante	C					
Revisar la tapa del radiador	C					
Revisar el estado del ventilador y verificar desgaste de correas		C				
Revisar la conexión de los bornes de la batería		C				
Revisar la presión de las llantas		C				
Revisar la superficie de las llantas		C				
Apretar las tuercas de las ruedas			C			
Revisar las mangueras de aire y aceite			C			
Probar el apagado automático del sistema			C			
Amortiguador de vibraciones inspeccionar caucho y ajuste de tornillos, apretar de ser necesario				C		
Limpiar el sistema de aire			C	LIMPIAR		
Limpiar el radiador del motor			C	LIMPIAR		
Reemplazar los elementos limpiadores del aire motor				R	R	R
Reemplazar los elementos limpiadores del aire compresor					R	
Reemplazar elementos separador de agua/combustible					R	
Reemplazar los elementos del filtro de aceite COMPRESOR					R	
Reemplazar aceite del compresor					R	
Cambiar el aceite del motor				R	R	R
Cambiar el filtro del motor				R	R	R
Reemplazar los elementos del filtro de combustible				R	R	R
Revisar el refrigerante del motor					C	
Reemplazar el refrigerante del motor					C	R
Revisar y ajustar las válvulas de inyección						C
Probar el apagado de los Switch						C
Reemplazar el elemento separador de aceite						R

Anexo 10. Lista de chequeo di aria Compresor

Inspeccionado por	Lugar de inspección	Fecha	D	M	A	CODIGO DEL COMPRESOR
		Revisó				
PARTES DEL COMPRESOR		FREC	C	NC	OBSERVACIONES	
Revisar el nivel de aceite del compresor		D				
Revisar el nivel de aceite del motor		D				
Revisar el nivel de refrigerante del radiador		D				
Revisar Medidores y luces del tablero		D				
Limpiar el servicio de aire		D				
Revisar el tanque de combustible (llenar al final del dia)		D				
Revisar el separador de drenaje de agua/combustible		D				
Revisar fugas de aceite		D				
Revisar fugas de combustible		D				
Existencia de vertederos de agua cercanos al equipo		D				
Drenar el filtro agua/ combustible		Drenar				
Revisar fugas de refrigerante		D				
Revisar la tapa del radiador		D				
Revisar el estado del ventilador y verificar desgaste de correas		S				
Revisar la conexión de los bornes de la batería		S				
Revisar la presión de las llantas		S				
Revisar la superficie de las llantas		S				
Probar el apagado automático del sistema		S				
Hora inicio:			Hora final			
D: Diario S: Semanal						

Anexo 11. Programa de mantenimiento Planta eléctrica (actual)

PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PLANTA ELECTRICA (actual)

REVISIONES, INSPECCIONES Y MANTENIMIENTOS	3 MESES	6 MESES	12 MESES	24 MESE
	250 HORAS	500 HORAS	1000 HORAS	2000 HORAS
Revisión del estado del panel de refrigeración	C			
Revisión del tubo carga de aire	C			
Revisión del compresor de aire	C			
Filtro de aceite motor	R			
Cambio de aceite motor	R			
Filtro de aire		R		
Filtros del radiador		R		
Revisión al sistema de refrigeración		C		
filtro de combustible		R		
Sistema de refrigeración				C
<p>Nota: En el momento de realizar algun intervalo de mantenimiento de debe realizar los intervalos anteriores</p>				
<p>Abreviaciones: C chequear R Reemplazar</p>				

Anexo 12. Programa de mantenimiento Planta eléctrica (mejorado)

REVISIONES, INSPECCIONES Y MANTENIMIENTOS COMPañIA	DIARIA	3 MESES	6 MESES	12 MESES	24 MESE
		250 HORAS	500 HORAS	1000 HORAS	2000 HORAS
Revisión de nivel de aceite lubricante de motor	C				
Drenar el separador de agua y combustible	C				
Revisión de nivel de líquidos en el radiador	C				
Revisión de tenión y estado de las correas	C				
Revisión del panel de radiador (que este limpio)	C				
Revisión de estado de ventilador (que no presente dobladura ni golpes en sus aspas / tornillos que sujetan las aspas estan)	C				
Bornes de la batería no estan flojos o sulfatados/ Nivel de agua es el adecuado	C				
Verificación de funcionamiento de Herz, Voltmetro y ampermetro	C				
Revisión de fuga de agua y/o aceite	C				
Revisión del estado del panel de refrigeración		C			
Revisión del tubo carga de aire		C			
Revisión del compresor de aire		C			
Filtro de aceite motor		R			
Cambio de aceite motor		R			
Filtro de aire		R			
Filtros del radiador			R		
Revisión al sistema de refrigeración			C		
filtro de combustible		R			
Sistema de refrigeración					C
Amortiguador de vibraciones inspeccionar caucho y ajuste de tornillos, apretar de ser necesario		C			
Nota: En el momento de realizar algun intervalo de mantenimiento de debe realizar los intervalos anteriores					
Abreviaciones: C chequear R Reemplazar					

Anexo 13. Lista de chequeo diaria Planta eléctrica



LISTA DE CHEQUEO DIARIA PLANTA ELECTRICA

Proyecto		FECHA	D	M	A
Inspeccionado por					
Cod. Interno					

REVISIONES	C	NC	OBSERVACIONES
Nivel de aceite lubricante del motor es adecuado según la varilla indicadora			
Drenar el separador de agua y combustible			
Nivel de agua en el radiador es el indicado (que el tanque este lleno)			
Correas tiene la tensión adecuada y que no preenten sin fisuras o rajaduras			
El panel de radiador se encuentra limpio			
Ventilador no presenta dobladura ni golpes en sus aspas / tornillos que sujetan las aspas estan ajustados			
Bornes de la bateria no estan flojos o sulfatados/ Nivel de agua es el adecuado			
Hertz debe marcar 60 ciclos			
Amperimetro funciona correctamente			
Voltimetro Funciona correctamente			
No se presenta fugas de agua, aceite o combustible			
Las tapas y guardas de seguridad del equipo estan en buen estado, completas y bien ajutadas			
Horómetro	Hora Inicial		Total horas
	Hora final		

Anexo 14. Orden de Análisis de Causa Raíz

ORDEN ANALISIS DE CAUSA RAIZ

N° DE ORDEN

Equipo		Marca	
Fecha de emisión de Orden		Código Interno	

Descripción del fallo / Informe del incidente

Componente donde se produjo el fallo	
--------------------------------------	--

Causas físicas a nivel del componente que fallo	

Fallas humanas	

Fallas administrativas o del proceso	

Conclusiones generales del Analisis de Causa Raíz

Plan de Acción			
	Actividad	Responsable	Fecha

Seguimiento			
	Actividad	Verificó	Fecha

Confirmacion de la eficacia de las acciones

Observaciones Generales

Fecha de cierre	
-----------------	--

Elaboró

Aprobó

Anexo 15. SOLICITUD DE MANTENIMIENTO

Tipo de mantenimiento		Correctivo <input type="checkbox"/>	Preventivo <input type="checkbox"/>	Fecha de solicitud		
		dd	mm	aa		
Equipo		Marca				
		Código Interno				
Horas por fuera de servicio		Proveedor del servicio				
Procedencia		Componente o parte que falló				
Sistema Eléctrico <input type="checkbox"/>		Sistema mecánico <input type="checkbox"/>		Sistema Hidráulico <input type="checkbox"/>		

1. Descripción del daño o modo de la falla	2. Causa estimada / Diagnóstico
.....
.....
.....

3. Trabajos realizados	
.....
.....
.....
.....

4. Repuestos o materiales			
Descripción	Cant.	Descripción	Cant.
.....
.....

5. Prueba			
Fecha de la prueba	Responsable de la prueba	Resultado de la prueba	Satisfactorio <input type="checkbox"/>
dd mm aa			No Satisfact. <input type="checkbox"/>

6. Seguimiento del mantenimiento			dd	mm	aa	Verificó
.....				
.....				

8. Observaciones	
.....
.....
Concerva su vida útil? SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	

Valor de MO	Valor repuestos	Valor Total del Mto.
-------------	-----------------	----------------------

Nota: Cuando el Mantenimiento es de tipo preventivo no llenar casillas 1 y 2

Registrado en la hoja de vida de equipo