



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA
INDOAMÉRICA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍAS DE LA
INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

TEMA:

**DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO PARA EL
ÁREA DE ABASTECIMIENTO CORTE TÉRMICO DE LA EMPRESA
SEDEMI.**

Trabajo de titulación bajo la modalidad de Propuesta Metodológica previo a la obtención del título de Ingeniero Industrial.

Autor

Loya Ñato Darío Rolando

Tutor

MDEI. Almeida José Gustavo

QUITO – ECUADOR

2020

**AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL AUTOR PARA LA CONSULTA,
REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN
ELECTRÓNICA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, Darío Rolando Loya Ñato, declaro ser autor del Trabajo de Titulación con el nombre “DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO PARA EL ÁREA DE ABASTECIMIENTO CORTE TÉRMICO DE LA EMPRESA SEDEMI.”, como requisito para optar al grado de INGENIERO INDUSTRIAL y autorizo al Sistema de Bibliotecas de la Universidad Tecnológica Indoamérica, para que con fines netamente académicos divulgue esta obra a través del Repositorio Digital Institucional (RDI-UTI).

Los usuarios del RDI-UTI podrán consultar el contenido de este trabajo en las redes de información del país y del exterior, con las cuales la Universidad tenga convenios. La Universidad Tecnológica Indoamérica no se hace responsable por el plagio o copia del contenido parcial o total de este trabajo.

Del mismo modo, acepto que los Derechos de Autor, Morales y Patrimoniales, sobre esta obra, serán compartidos entre mi persona y la Universidad Tecnológica Indoamérica, y que no tramitaré la publicación de esta obra en ningún otro medio, sin autorización expresa de la misma. En caso de que exista el potencial de generación de beneficios económicos o patentes, producto de este trabajo, acepto que se deberán firmar convenios específicos adicionales, donde se acuerden los términos de adjudicación de dichos beneficios.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Quito, a los.....días del mes de.....de 2020, firmo conforme:

Autor: Darío Rolando Loya Ñato

Firma:

Número de Cédula: 1716193287

Dirección: Pichincha, Quito, Amaguaña - Cuendina

Correo Electrónico: rolo_dj@yahoo.com

Teléfono: 593 999469122

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación “DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO PARA EL ÁREA DE ABASTECIMIENTO CORTE TÉRMICO DE LA EMPRESA SEDEMI.”, presentado por Loya Ñato Darío Rolando, para optar por el Título de Ingeniero Industrial,

CERTIFICO

Que dicho trabajo de investigación ha sido revisado en todas sus partes y considero que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del Tribunal Examinador que se designe.

Quito,de.....de 2020

MDEI. Almeida José Gustavo

C.C. 1711245132

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Quien suscribe, declaro que los contenidos y los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación, como requerimiento previo para la obtención del Título de Ingeniero Industrial, son absolutamente originales, auténticos, personales y de exclusiva responsabilidad legal y académica del autor.

Quito,.....de.....de 2020

Darío Rolando Loya Ñato

C.C.: 1716193287

APROBACIÓN TRIBUNAL

El trabajo de Titulación, ha sido revisado, aprobado y autorizada su impresión y empastado, sobre el Tema: DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO PARA EL ÁREA DE ABASTECIMIENTO CORTE TÉRMICO DE LA EMPRESA SEDEMI., previo a la obtención del Título de Ingeniero Industrial, reúne los requisitos de fondo y forma para que el estudiante pueda presentarse a la sustentación del trabajo de titulación.

Quito,.....de.....de 2020

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

VOCAL 1

VOCAL 2

DEDICATORIA

Este objetivo que he logrado cumplir con mucho esfuerzo, está dedicado a Dios por darme la fuerza e inteligencia para poder avanzar y resolver cada reto que apareció a lo largo de todo este tiempo para culminar y alcanzar el objetivo, a mi madre Luz María Ñato quien me supo acompañar y levantar en todo este camino, a mis hermanos Alcides y Fernanda Loya Ñato junto con Antony, por sus palabras de apoyo y ayuda incondicional cuando los necesite.

También quiero dedicar este logro a mi abuelita Transito quien desde arriba me supo incentivar y guiar de una manera especial.

A toda la familia, amigos y personas especiales que me ayudaron, me sacaron una sonrisa y quienes me incentivaron a seguir luchando a lo largo de todo este proceso.

Loya Ñato Darío Rolando

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Universidad por sus conocimientos impartidos en las aulas y por permitirme desarrollar mis habilidades al aplicar los conocimientos. A la empresa SEDEMI., por darme las facilidades para poder aplicar los conocimientos adquiridos y combinarlos con el trabajo diario.

Agradecer también a todos los docentes, amigos y amigas que tuve el gusto de conocer en la carrera de Ingeniería Industrial y quienes hicieron más llevadero el paso del tiempo a lo largo de este camino con su ejemplo, consejos, trabajo y amistad, para cumplir el objetivo.

Loya Ñato Darío Rolando

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PRELIMINARES	Pág.
TPORTADA	i
AUTORIZACIÓN PARA REPOSITORIO DIGITAL.....	ii
APROBACIÓN DEL TUTOR.....	iii
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD.....	iv
APROBACIÓN TRIBUNAL	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xv
RESUMEN EJECUTIVO	xvi
ABSTRACT.....	xvii
 CAPÍTULO I	 1
INTRODUCCIÓN	1
Desarrollo del mantenimiento en la industria	2
Primera generación de mantenimiento.....	2
Segunda generación de mantenimiento.....	3
Tercera generación de mantenimiento	3
Gestión del mantenimiento industrial	3
Mantenimiento	4
Mantenimiento reactivo (correctivo).....	5
Mantenimiento preventivo	5
Mantenimiento predictivo	5
Parámetros para control de estado.....	5
Establecimiento de un sistema de mantenimiento predictivo	7
Técnicas de mantenimiento predictivo.....	9
Técnicas de aplicación para el mantenimiento predictivo	10
Técnica de inspección Visual.....	10
Técnica de líquidos penetrantes	10

Técnica de partículas magnéticas.....	11
Técnica de inspección radiográfica.....	11
Técnica de ultrasonido	11
Técnica análisis de aceite	11
Técnica de termografía.....	12
Aplicación de termografía en el mantenimiento predictivo	13
Sistema de corte térmico por plasma	15
Indicadores de mantenimiento	16
Característica de los indicadores de mantenimiento	16
KPI de mantenimiento.....	17
Clasificación de indicadores	17
Indicadores de clase mundial	17
MTBF - Tiempo medio entre fallas	18
MTTR - Tiempo medio entre paras	18
Interpretación de MTBF y MTTR	18
Disponibilidad.....	19
Confiabilidad.....	19
Distribución de Weibull aplicada al mantenimiento.....	19
IC - Indicador de cumplimiento	20
Estrategias de mantenimiento predictivo	20
Antecedentes	23
Justificación.....	25
Objetivo general.....	27
Objetivos específicos	27
 CAPÍTULO II	 28
INGENIERÍA DEL PROYECTO.....	28
Diagnóstico de la situación actual de la empresa.....	28
Definición del plan de mantenimiento predictivo	33
Área del estudio.....	34
Modelo operativo	34
Listado de equipos.....	36
Codificación de equipos.....	36

Análisis de criticidad.....	36
Selección de modelo de mantenimiento de equipos críticos.....	36
Cálculo de indicadores de gestión de mantenimiento	37
Pasos para la implementación del mantenimiento predictivo	37
Resultado de aplicación de la técnica predictiva.....	37
 CAPÍTULO III.....	 38
PROPUESTA Y RESULTADOS ESPERADOS	38
Presentación de la propuesta	38
Listado de equipos.....	39
Codificación de equipos.....	39
Análisis de criticidad en equipos.....	40
Análisis de criticidad abastecimiento corte térmico.....	44
Análisis de resultado de criticidad de equipos	45
Selección de modelo de mantenimiento.....	46
Selección modelo de mantenimiento abastecimiento corte térmico	47
Análisis de resultado modelo de mantenimiento de equipos	48
Cálculo de indicadores de gestión de mantenimiento	48
MTBF - Tiempo medio entre fallas	51
MTTR - Tiempo medio entre paradas.....	52
Indicador disponibilidad.....	53
Confiabilidad.....	54
Indicador de cumplimiento	56
Pasos para la implementación del mantenimiento predictivo	57
Identificación de elementos y componentes principales del sistema de plasma...	57
Fuente de energía	58
Consola de ignición.....	59
Consola de gas	60
Antorcha.....	60
Conjunto válvula de cierre (Koike 310).....	61
Consola de dosificación (Teco 4500).....	61
Definición de parámetros y técnicas a usar en el sistema de plasma.	61
Clasificación de fallos en el sistema de plasma	63
Fallo funcional	63

Fallo técnico	63
Clasificación de los fallos	63
Determinación de medidas preventivas en el sistema de plasma.....	66
Resultados esperados	73
Aplicación de la estrategia predictiva	73
Plan de mantenimiento predictivo del sistema de plasma.....	74
Cronograma de mantenimiento predictivo del sistema de plasma.....	77
Análisis de reducción de tiempos de para con aplicación del plan de mantenimiento predictivo.....	78
Comparación de indicadores con la aplicación de la técnica predictiva.....	80
Análisis de resultados de curvas de confiabilidad.....	86
Análisis de costo de cambios y subcontratación de termografía de componentes	87
Valor de cambio de partes al año del sistema de plasma	87
Propuesta de subcontratación de análisis termográfico	88
 CAPÍTULO IV	 91
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	91
Conclusiones	91
Recomendaciones.....	93
BIBLIOGRAFÍA	94
ANEXOS	96

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Parámetros y técnicas para control de diferentes tipos de equipo.....	6
Tabla 2. Clasificación de fallas eléctricas.	14
Tabla 3. Listado de equipos abastecimiento corte térmico.	39
Tabla 4. Codificación de equipos del área de corte térmico.	40
Tabla 5. Tabla propuesta para análisis de criticidad.	41
Tabla 6. Ejemplo de análisis de criticidad.....	42
Tabla 7. Valores por columna de análisis de criticidad.....	43
Tabla 8. Ejemplo promedió y calificación de criticidad.	43
Tabla 9. Análisis de criticidad de equipos abastecimiento corte térmico.	44
Tabla 10. Resumen de análisis de criticidad de equipos críticos.	45
Tabla 11. Resumen de análisis de criticidad de equipos importantes.	45
Tabla 12. Selección de modelo de mantenimiento abastecimiento corte térmico.	47
Tabla 13. Selección de modelo de mantenimiento.....	48
Tabla 14. Tiempo de para por máquina crítica Koike 310.....	49
Tabla 15. Tiempo de para por máquina crítica KF 2512.	49
Tabla 16. Tiempo de para por máquina crítica Tecoi 4500.	50
Tabla 17. Tiempo de para por tipo de falla en equipos críticos.	50
Tabla 18. Cantidad de paras por máquina crítica.	51
Tabla 19. Componentes principales del sistema de plasma.	58
Tabla 20. Parámetro y técnicas a usar – sistema de plasma.....	62
Tabla 21. Clasificación de fallos del sistema de plasma.	64
Tabla 22. Tareas de mantenimiento por modelo de mantenimiento.	67
Tabla 23. Medidas preventivas a adoptar en el sistema de plasma.	69
Tabla 24. Magnitud presente en partes con fallo funcional.	74
Tabla 25. Tabla resumen sistema de plasma.	75
Tabla 26. Simulación de aplicación de termografía sistema de plasma Koike 310.	79
Tabla 27. Simulación de aplicación de termografía sistema de plasma Kf 2512.	79

Tabla 28. Simulación de aplicación de termografía sistema de plasma Tecoi 4500.	80
Tabla 29. Resumen fallas en maquinaria	80
Tabla 30. Resumen tiempo de reparación	81
Tabla 31. Resumen MTBF	81
Tabla 32. Resumen MTTR	82
Tabla 33. Resumen disponibilidad	82
Tabla 34. Resumen indicador de cumplimiento	83
Tabla 35. Valor de partes principales Sistema de Plasma	87
Tabla 36. Valor de cambio de partes al año en el sistema de plasma.	88
Tabla 37. Selección de propuestas de termografía.	90
Tabla 38. Costo de cambio anual de componentes del Sistema de Plasma.	90

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Generaciones del mantenimiento en la historia	2
Figura 2. Curva P-F	9
Figura 3. Procesamiento de señal infrarroja	13
Figura 4. Termografía de motor	13
Figura 5. Proceso de corte por plasma	15
Figura 6. Interpretación del MTBF y MTTR	18
Figura 7. Estrategias en función de su relación costo-beneficio y de la dificultad para su implantación.	21
Figura 8. Programación de intervenciones de mantenimiento	22
Figura 9. Impacto de las paradas por intervenciones en las máquinas según una estrategia reactiva, preventiva o predictiva.	23
Figura 10. Layout ubicación de área y maquinaria abastecimiento	29
Figura 11. FORMAN 02 Solicitud de Mantenimiento	30
Figura 12. Averías generales en equipos corte térmico	31
Figura 13. Averías mesa de corte Koike 310	32
Figura 14. Averías procesadora de placas Kf 2512	32
Figura 15. Averías mesa de corte Tecoi 4500	32

Figura 16. Diagrama de modelo operativo.	35
Figura 17. Modelo de fallo.....	46
Figura 18. Tiempo promedio entre fallas equipos críticos.....	52
Figura 19. Tiempo promedio entre paradas equipos críticos.....	52
Figura 20. Indicador de Disponibilidad de equipos críticos.	53
Figura 21. Curva de fiabilidad mesa de corte Koike 310.....	54
Figura 22. Curva de fiabilidad procesadora de placas Kf 2512.	55
Figura 23. Curva de fiabilidad mesa de corte Tecoi 4500.	55
Figura 24. Indicador de Cumplimiento de equipos críticos.	56
Figura 25. Componentes principales del Sistema de Plasma.....	57
Figura 26. Fuente de energía lado 1A – sistema de plasma.....	58
Figura 27. Fuente de energía 2A – sistema de plasma.....	59
Figura 28. Consola de ignición – sistema de plasma.....	59
Figura 29. Consola de gas – sistema de plasma.....	60
Figura 30. Antorcha – sistema de plasma.	60
Figura 31. Conjunto de válvula de cierre – sistema de plasma.....	61
Figura 32. Consola de dosificación – sistema de plasma.....	61
Figura 33. Ejemplo de plan de mantenimiento predictivo sistema de plasma.....	76
Figura 34. Ejemplo de cronograma de mantenimiento predictivo sistema de plasma.....	77
Figura 35. Comparación de fallas en maquinaria sin y con predictivo.....	80
Figura 36. Comparación de tiempo de reparación sin y con predictivo.	81
Figura 37. Comparación MTBF sin y con predictivo	81
Figura 38. Comparación MTTR sin y con predictivo.....	82
Figura 39. Comparación disponibilidad sin y con predictivo.	82
Figura 40. Indicador de cumplimiento.....	83
Figura 41. Curva de confiabilidad sin técnica predictiva - mesa de corte Koike 310.....	83
Figura 42. Curva de confiabilidad con técnica predictiva - mesa de corte Koike 310. ...	84
Figura 43. Curva de confiabilidad sin técnica predictiva - procesadora Kf 2512.....	84
Figura 44. Curva de confiabilidad con técnica predictiva - procesadora Kf 2512.....	85
Figura 45. Curva de confiabilidad sin técnica predictiva - mesa de corte Tecoi 4500. ...	85
Figura 46. Curva de confiabilidad con técnica predictiva - mesa de corte Tecoi 4500. ..	86

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Manual HyPerformance Plasma HPR 260XD.	97
Anexo 2. Datasheet - Mesa de corte Koike 310.....	98
Anexo 3. Datasheet - Procesadora de placas Kf 2512.	99
Anexo 4. Datasheet - Mesa de corte Tecoi 4500	100
Anexo 5. Cotización análisis termográfico Vibratec S.A.	101
Anexo 6. Cotización análisis termográfico Predictiva.....	102
Anexo 7. Plan de mantenimiento predictivo mesa de corte Koike 310.	103
Anexo 8. Plan de mantenimiento predictivo procesadora de placas Kf 2512. ...	104
Anexo 9. Plan de mantenimiento predictivo mesa de corte Tecoi 4500.....	105
Anexo 10. Programa de mantenimiento predictivo mesa de corte Koike 310....	106
Anexo 11. Programa de mantenimiento predictivo procesadora de placas Kf 2512.	107
Anexo 12. Programa de mantenimiento predictivo mesa de corte Tecoi 4500. .	108
Anexo 13. Datos recogidos de solicitudes de mantenimiento correctivo.	109
Anexo 14. Datos recogidos de solicitudes de mantenimiento correctivo – tiempos reducidos.	110
Anexo 15. Cálculo de confiabilidad mesa de corte Koike 310.....	111
Anexo 16. Cálculo de confiabilidad procesadora de placas Kf 2512.	112
Anexo 17. Cálculo de confiabilidad mesa de corte Tecoi 4500.	113
Anexo 18. Cálculo de fiabilidad mesa de corte Koike 310 – tiempo de falla reducido..	114
Anexo 19. Cálculo de fiabilidad procesadora de placas Kf 2512 – tiempo de falla reducido.....	115
Anexo 20. Cálculo de fiabilidad mesa de corte Tecoi 4500 – tiempo de falla reducido.....	116

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍAS DE LA
INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**TEMA: DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO
PARA EL ÁREA DE ABASTECIMIENTO CORTE TÉRMICO DE LA
EMPRESA SEDEMI.**

AUTOR: Loya Ñato Darío Rolando

TUTOR: MDEI. Almeida José Gustavo

RESUMEN EJECUTIVO

La empresa ecuatoriana SEDEMI especializada en la fabricación de estructura metálica, posee varias áreas, entre estas la de abastecimiento corte térmico donde se procesa toda la materia prima, esta área cuenta con varios equipos dentro de los cuales existe un grupo que se especializa en el corte por plasma, estos cuentan con tecnología, sistemas y elementos especiales que requieren un cuidado especial para garantizar su confiabilidad y disponibilidad. Mediante un análisis de criticidad se identifica las máquinas críticas que intervienen en el proceso, siendo las que usan el sistema de corte por plasma que es el corazón de cada una, también se realiza un estudio de un periodo de 17 meses de datos disponibles en el departamento de mantenimiento de las solicitudes correctivas de la maquinaria crítica, la cual muestra que las fallas presentes mayormente están en el sistema de plasma de cada máquina. De este sistema se analiza los elementos y componentes principales acorde a información técnica y en los cuales se debe aplicar el mantenimiento predictivo. Para implementar el mantenimiento predictivo se toma información sustentada sobre el tema de termografía, ya que los componentes críticos del sistema de plasma generan temperatura cuando entran en funcionamiento, haciendo que la técnica predictiva más adecuada para aplicar sea la termografía, la cual basa su análisis en la temperatura y el rango en que se genera, para diagnosticar el desgaste de elementos a lo largo de su vida útil antes de que fallen. Con la información y la técnica definida, se diseña un plan de mantenimiento predictivo, que sugiere las componentes principales, frecuencia y técnica a aplicar en el periodo de un año para empezar a obtener información que permita seguir la trazabilidad de cada parte y poder actuar antes que los componentes presenten averías, aumentando la confiabilidad y disponibilidad de los equipos críticos.

DESCRIPTORES: corte térmico, crítica, mantenimiento, plan, predictivo, sistema de plasma, termografía.

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍAS DE LA
INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**THEME: DESIGN OF A PREDICTIVE MAINTENANCE PLAN FOR THE
THERMAL CUT SUPPLY AREA AT SEDEMI COMPANY**

AUTHOR: Loya Ñato Darío Rolando

TUTOR: MDEI. Almeida José Gustavo

ABSTRACT

The Ecuadorian company SEDEMI specialized in manufacture of metal structures. This has several areas, including the supply of thermal cutting where all raw materials are processed. This area has several teams where there is a group that specialized in plasma cutting, technology, systems and distinct elements that require special care to ensure their reliability and availability. Through an imminence analysis, critical machines involved in the process are identified, being those that use the plasma cutting system that is the core of each one. Also, a study for a period of 17 months of available data in the maintenance department of the corrective applications for critical machinery is performed. This showed that the present failures are mostly in the plasma system of each machine. From this system, the main elements and components are analyzed according to technical information and in which predictive maintenance should be applied. In order to implement predictive maintenance, information is taken based on thermography. Subsequently, the critical components of the plasma system generate temperature when they enter operation, making thermography the most adequate predictive technique to apply, which based its analysis on the temperature and the range in which it was generated. In order to diagnose the attrition of elements throughout their useful life before they fail. With the information and the defined technique, a predictive maintenance plan is designed, which suggested the main components, frequency and technique to be applied in the period of one year in order to start obtaining information that allowed following the traceability of each part and to be able to act before the components present failures, increasing the reliability and availability of the critical equipment.

KEYWORDS: critical, maintenance, plan, plasma system, thermal cut, predictive, thermography..

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la aplicación del mantenimiento en los procesos de producción evidencia la necesidad de las empresas de asegurar niveles mínimos de pérdidas, adicionalmente de mantener posiciones elevadas de calidad. A razón de la evolución de los sectores productivos se establecen nuevos mecanismos para la mejora de procesos, con el objetivo de optimizar la utilización de los recursos, en base a esta realidad la industria identificó que el mantenimiento influye en la productividad, puesto que la maquinaria, equipo y herramientas deben generar seguridad, y estar disponibles dentro de las jornadas productivas. (González, 2015)

A finales de los 50 del siglo pasado, en Ohio - Estados Unidos, aparece un grupo de personas dedicadas al mantenimiento preventivo quienes, motivados por una necesidad económica, desarrollaron una herramienta capaz de detectar anomalías en ciertos tipos de motores eléctricos que generaban continuos problemas mecánicos. Las paradas de las máquinas en los procesos de producción generaban costes altos y evitarlos, significaba importantes ahorros de dinero. De esta forma empiezan los primeros pasos en el desarrollo de lo que hoy se conoce como mantenimiento predictivo. Actualmente, el mantenimiento predictivo es la herramienta mejor implantada en el marco de la industria mundial. Se estima que entre un 56 y 64% de las plantas industriales del mundo tienen implementada alguna herramienta predictiva. En países desarrollados cerca del 77% tienen un programa de mantenimiento predictivo establecido y en funcionamiento, generando una gran cantidad de información, que en la mayoría de casos se utiliza para implantar mejoras en las plantas industriales. (BUREAU VERITAS, 2017)

Las pequeñas y medianas empresas constituyen la principal potencia productiva del Ecuador, ya que en conjunto son mayoría dentro de la red empresarial. De acuerdo a datos oficiales de las empresas registradas en la Superintendencia de Compañía, las pequeñas y medianas empresas representan el 36% del total de entidades verificadas. Un estudio realizado en la ciudad de Milagro en su zona de influencia, el 83% de las pequeñas y medianas empresas no aplican un mantenimiento predictivo, sino el correctivo. También se constata que los costos por reparaciones de los equipos son elevados con un 75% de sobrecostos, además por el incremento de automatización en sus procesos, consideran necesario aplicar la metodología de técnicas predictivas, debido a la falta de conocimiento por parte de los administradores de las empresas, no lo hacen. (Cedeño Anchundia, Arévalo Gamboa, & León Granizo, 2016)

En SEDEMI, debido al crecimiento desorganizado de las diferentes áreas y equipos, se aplicaba en un 100% el mantenimiento correctivo, con la implantación y organización de nuevas estructuras internas, el área de mantenimiento crece a la par con los cumplimientos que se deben dar con las certificaciones nacionales, razón por la cual se actualizan los procesos para aplicación del mantenimiento preventivo, a partir del 2010 se aplica en todos los equipos notando un incremento en su disponibilidad y disminuyendo los mantenimientos correctivos, actualmente con la adquisición de nuevas máquinas y con el aumento progresivo de la capacidad de producción (1000 toneladas/mes) para proyectos a nivel nacional, se hace necesario garantizar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos. Una de las áreas principales es la de abastecimiento corte térmico donde aproximadamente el 95% de materia prima se procesa, esta cuenta con un grupo de máquinas que realizan corte térmico por un sistema de plasma siendo consideradas como importantes dentro de la producción, con la aplicación del preventivo se observa la existencia de componentes que necesitan un trato especial para analizar su comportamiento, con el apareamiento de nuevas técnicas que ayudan a monitorear y adelantarse a fallos posibles, sin la necesidad de parar el equipo, se ve necesario la aplicación de una técnica y plan de mantenimiento predictivo para garantizar el funcionamiento de la maquinaria y generar un historial de información.

Desarrollo del mantenimiento en la industria

Con la habilidad del pensamiento del hombre y con el crecimiento de la tecnología de producción, fue con el boom de la revolución industrial que se inició el desarrollo del mantenimiento correctivo, puesto que a razón de que se concibieron las herramientas, equipos y utensilios para la fabricación de un producto, se hizo necesaria la manera de corregir imperfecciones en los procesos obteniendo un mayor rendimiento y proyectando su duración por más tiempo. En consecuencia, como resultado de la evolución de la industria existieron tres generaciones de mantenimiento de acuerdo con las necesidades de cada tiempo.

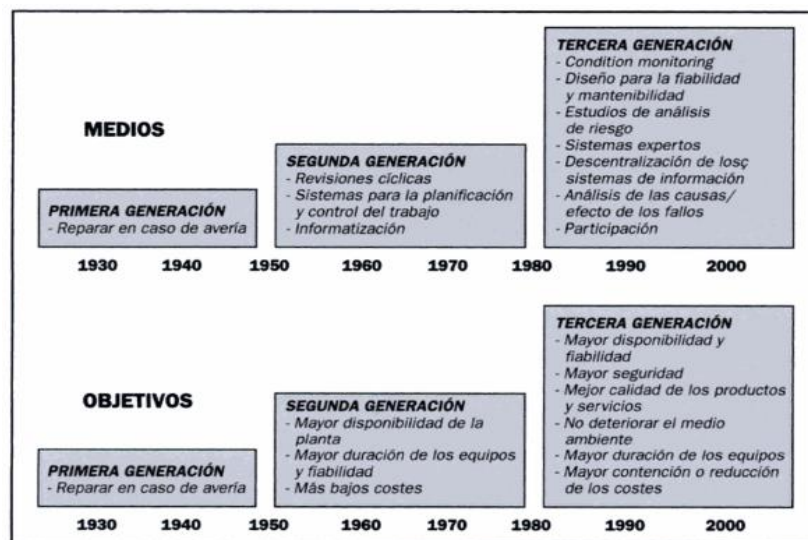


Figura 1. Generaciones del mantenimiento en la historia.

Fuente: Teoría y práctica del Mantenimiento Industrial Avanzado, 2015.

Elaborado por: El investigador.

Primera generación de mantenimiento

En esta generación el mantenimiento es realizado por el operador, reparando averías presentes y realizando, reaprietes, limpiezas y lubricaciones de componentes de las máquinas. Este tipo de mantenimiento era mayormente correctivo.

Segunda generación de mantenimiento

En esta generación existe una mayor continuidad en la producción y una mayor complejidad en máquinas, por lo que aparece el mantenimiento preventivo sistemático. Aparecen las primeras planificaciones y actividades para realizar los trabajos, también se empieza a usar herramientas informáticas para complementar el mantenimiento (GMAO Gestión de mantenimiento asistido por ordenador).

Tercera generación de mantenimiento

En esta generación los objetivos se centran en varios aspectos como: disponibilidad y fiabilidad de equipos y sistemas, reducción de costos, aumento en seguridad, en calidad (certificaciones ISO 9001), en la conciencia de preservar el medio ambiente (ISO 14001), aumento en la vida útil de equipos y vigilancia de la normativa vigente. Las actividades de mantenimiento preventivo son ajustadas a la normativa o a su utilidad, aparecen los mantenimientos según condición, los predictivos y otras técnicas como el RCM (mantenimiento centrado en la confiabilidad) y el TPM (mantenimiento productivo total).

Gestión del mantenimiento industrial

El mantenimiento en una empresa según Porter (1985): “es la dinámica activa de los procesos de la organización, siendo clave para el desarrollo productivo, teniendo el mismo nivel de importancia que otras zonas”. Sin un apropiado mantenimiento se ve disminuido el crecimiento de la actividad productiva. Actualmente, la industria no tiene la concepción de ser una planta dividida, sino un grupo en constante interacción, como parte de una cadena constituida por colaboradores internos y externos, orientados hacia cumplimiento de la satisfacción del cliente, ofreciendo productos y servicios de calidad, a un bajo costo y en el menor tiempo posible. Al evaluar el desempeño y las deficiencias que se producen en los procesos y sistemas, se identifican gestiones inadecuadas, problemas entre las diferentes áreas administrativas, productivas y en la mayoría de casos cuellos de botella en las líneas de transformación.

Por consecuencia surgen efectos negativos asociados con las variables que influyen de forma directa en el desempeño de la empresa, siendo estos:

- La eficiencia en el proceso de producción.
- Los costos de producción.
- La calidad del producto y el sistema de trabajo.
- La confiabilidad de la empresa.

Según Galvan (2015), estas variables están asociadas de forma directa con las actividades operativas. Por esto dentro de los procesos de producción los propósitos principales del mantenimiento buscan cumplir con lo siguiente:

- Optimizar la disponibilidad del equipo productivo y talento humano.
- Reducir los costos de mantenimiento.
- Maximizar la vida útil de los activos.

La administración del mantenimiento es un proceso secuencial, lógico y ordenado donde, se deben establecer acciones soportadas por procedimientos técnicos que lleven una secuencia metódica con el propósito de lograr confiabilidad y disponibilidad de los equipos a mantener. De acuerdo con esto el objetivo se centra en implementar procesos productivos con las nuevas tendencias de mantenimiento. La administración en cualquier empresa debe generar procesos de retroalimentación y evaluación, puesto que a partir de este punto se pueden estructurar alternativas para el mejoramiento continuo, adicionalmente ayuda a optimizar recursos y disminuye costos por paros no planificados.

Mantenimiento

El mantenimiento es fundamental pues aparece de la necesidad que tienen las empresas alcanzar el uso óptimo de sus equipos, para mantenerlos trabajando de forma continua y eficiente. Hay distintas formas de aplicar el mantenimiento:

Mantenimiento reactivo (correctivo)

Ballesteros Robles (2011), define el mantenimiento reactivo como: “el mantenimiento efectuado a una máquina o instalación cuando la avería ya se ha producido, para restablecerla a su estado operativo habitual de servicio”.

Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo se emplea principalmente para detectar, a través de la eficiente planificación y programación de los análisis periódicos, las fallas previstas en equipos, sistemas e instalaciones, que modifican el proceso de producción o el desempeño del objeto averiado. Esta clase de mantenimiento, en contraste con el correctivo, se enfoca en mantener en las mejores condiciones la maquinaria. (Botero, 2014)

Mantenimiento predictivo

Se fundamenta en realizar una serie de valoraciones o experimentos no invasivos a través de tecnología a todas las partes de la maquinaria que puedan dañarse, descomponerse o deteriorarse, pudiendo con esto pronosticar un fallo severo. La mayor parte de estas mediciones se realizan con las máquinas en marcha y sin obstaculizar la producción. (Galvan, 2015) .

Parámetros para control de estado

Son magnitudes físicas capaces de experimentar alguna modificación repetitiva en su valor, cuando cambia el estado de funcionamiento de la máquina. Existen varios parámetros que se pueden utilizar, siempre que se cumpla lo siguiente:

- Que sea sensible a un defecto concreto.
- Que se modifica como consecuencia de la aparición de alguna anomalía.
- Que se repite siempre de la misma forma.

Así las técnicas utilizadas para el mantenimiento se clasifican en dos grupos:

Técnicas directas. - Donde se inspeccionan directamente los elementos sujetos a fallo, la más usada es la inspección visual, líquidos penetrantes, partículas magnéticas, ultrasonido, análisis de materiales y la inspección radiográfica.

Técnicas indirectas. - Miden y analizan un parámetro con significación funcional relevante, el más usado es el análisis de vibraciones, aunque también se pueden usar conjuntamente el análisis de lubricantes, de ruidos, de impulsos de choque, medida de presión o de temperatura.

A continuación, en la siguiente tabla se muestra una clasificación de parámetros, técnicas y equipos a usar:

Tabla 1. Parámetros y técnicas para control de diferentes tipos de equipo.

PARÁMETRO INDICADOR	TÉCNICA	EQUIPO
Inspección visual	Uso de endoscopios, mirillas, videos	Dinámico
Vibraciones	Análisis espectral y de tendencias	
Presión, caudal, temperatura	Seguimiento de evolución	
Ruido	Análisis de espectro	
Degradación y contaminación de lubricantes	Análisis fisicoquímico, Ferrografía	
Estado de rodamientos	Impulso de choque	
Estado de alineación	Laser de monitorización	
Control de esfuerzos, par y potencia	Extensometría, torsiómetros	
Velocidades críticas	Amortiguación dinámica	

Observación visual	Testigos, endoscopios	Estático
Corrosión	Testigos, rayos X, ultrasonido	
Fisuración	Líquidos penetrantes, partículas magnéticas, rayos X, ultrasonidos, Corrientes parasitas	
Estado de carga	Entensometría, células de carga	
Desgaste	Ultrasonidos, corrientes inducidas, flujo magnético	
Fugas	Ultrasonidos, ruidos, control atmosfera por medio de gases	

Tabla 1. Continuación

PARÁMETRO INDICADOR	TÉCNICA	EQUIPO
Equilibrio de fases	Medidas de tensión e intensidad	Eléctrico
consumos anómalos	Medidas de intensidad y potencia	
Estado de devanados, excentricidad, desequilibrio	Espectros de corriente y vibración	
Severidad de servicio	Control y recuentos de arranques y maniobras	
Resistencia de aislamiento	Medida de resistencias, índice de polarización	
Contaminación de devanados	Corriente de absorción de fuga	
Temperatura de devanados	Medidas de temperatura, termografías	
Estado de escobillas	Termografías, análisis estroboscópico	
Fallos de aislamiento	Factor de pérdida dieléctricas, análisis de descargas parciales	Eléctrico
Función o respuesta	Medidas eléctricas, simulación, sistemas expertos	
Calentamiento	Avisos sonoros, termografía	

Fuente: IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN LA EMPRESA AGR-RACKEND” (JASSO, 2011).

Elaborado por: El investigador.

Establecimiento de un sistema de mantenimiento predictivo

Para establecer el mantenimiento predictivo se debe medir y valorar una serie de parámetros de control periódicamente y para esto se requieren medios, Físicos (hardware), de gestión (software) y humanos. Los medios físicos son instrumentos que miden y registran datos, los programas de gestión manejan los datos captados con el fin de generar informes gráficos donde se puede distinguir si hay algún cambio. Los medios humanos deben ser personas con conocimiento en los equipos de medición ya que hacen las medidas rutinarias e interpretan los resultados.

La implantación del mantenimiento predictivo requiere ciertos pasos:

1. Preparación inicial.
2. Implantación.
3. Revisión de resultados.

1.- Preparación inicial. - Aquí se recopila información importante para todo el proceso mediante los siguientes pasos:

- Definición de las máquinas.
- Identificación, estudio de características y calificación de importancia.
- Determinación de parámetros y técnicas de medidas.

Para cada máquina crítica se determinan parámetros y técnicas adecuadas para su control como:

- Frecuencia de chequeo.
- Alcance de medidas de cada parámetro.
- Definición de rutas.
- Definición de alarmas, para cada parámetro.
- Formación del personal.

2.- Implantación. - Una vez preparada, se sigue periódicamente las medidas, con rutas y frecuencias:

- Chequeos y medidas periódicas.
- Registro y volcado de datos en el sistema.
- Valoración de niveles que indican un comportamiento anómalo.
- Análisis y diagnóstico de anomalías.

3.- Revisión de resultados. - Una vez implantado se debe llevar anualmente un análisis de resultados:

- Historial de medidas rutinarias y averías.
- Análisis de resultados y dispersión de datos.
- Cambio de parámetros o alarma, así como frecuencias de chequeo.

Técnicas de mantenimiento predictivo

Son un grupo de técnicas seleccionadas que ayudan a un adecuado seguimiento y comparación, de ciertos parámetros especiales dentro de la máquina, que se pueden llegar a manifestar modificando el normal funcionamiento en la misma. En la Figura 2. Curva P-F, se muestra el proceso de cómo un fallo inicia y se desarrolla hasta llegar al deterioro, en la curva se observar un punto (P) en el que se puede detectar el fallo. A partir de ese punto, si no se detecta o se toman medidas oportunas para corregir ese fallo, continuara hasta alcanzar el punto (F) de fallo funcional, el seguimiento se puede hacer periódicamente, para poderlo detectar en un momento entre P y F, y así poder reaccionar de manera temprana.

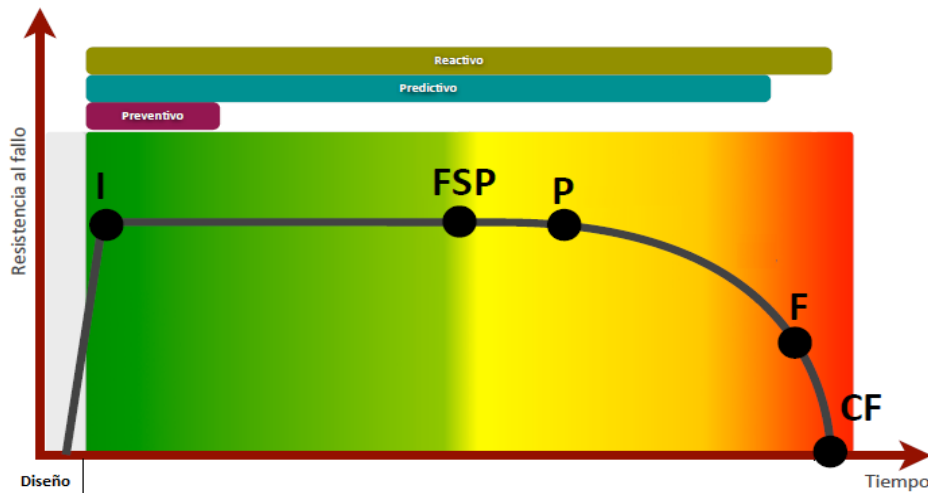


Figura 2. Curva P-F.

Fuente: El Mantenimiento Predictivo como pilar fundamental del RCM, 2015.

Elaborado por: El investigador.

Donde:

I: la etapa previa a I es la fase de diseño, construcción y puesta en servicio.

FSP: es el momento cuando se produce el fallo, pero este punto no es realmente identificable, porque el fallo todavía no es detectable.

P: es el momento en el que se detecta el fallo mediante alguna técnica predictiva.

F: es el momento en el cual la máquina sufre un fallo funcional. Por ejemplo, si una bomba debe dar un determinado caudal o presión, y por un fallo no alcanza el nivel mínimo requerido para el proceso.

TF: es el momento donde la máquina alcanza su fallo total, a veces catastrófico.

No siempre es factible realizar este seguimiento en toda máquina, ya que los parámetros a controlar y la forma depende de factores como:

- Importancia de la máquina en el proceso productivo.
- Instrumentación necesaria para el control.
- Costo.

Los equipos a los que actualmente se les puede aplicar este tipo de mantenimiento predictivo y debido a su importancia dentro de la maquinaria son:

- Máquinas rotativas
- Motores eléctricos
- Equipos estáticos
- Tableros eléctricos
- Instrumentación

Técnicas de aplicación para el mantenimiento predictivo

Técnica de inspección Visual

Se realiza en zonas que se pueden observar directamente en la máquina, también se pueden usar sistemas de observación como microscopios y endoscopios, mediante esta inspección, se pueden detectar fallos físicos como grietas, desgaste, elementos de fijación sueltos, etc.

Técnica de líquidos penetrantes

Son inspecciones no destructivas que permiten identificar fisuras superficiales, esto se consigue al aplicar una tinta especial sobre una superficie limpia, después de un tiempo se quita la tinta y se coloca un líquido absorbente que extrae toda la tinta atrapada en las grietas superficiales, mostrando su presencia y forma.

Técnica de partículas magnéticas

Es otro ensayo no destructivo que se basa en la magnetización de un material ferromagnético al ser sometido a un campo magnético, se esparcen partículas magnéticas de pequeña dimensión que por efecto del campo magnético se orientan siguiendo las líneas de flujo magnético existentes. Las fisuras se ponen de manifiesto por las discontinuidades que crean en la distribución de partículas.

Técnica de inspección radiográfica

Se usa para detectar defectos internos como grietas, burbujas o impurezas, se usan especialmente en uniones soldadas. Consiste en intercalar el elemento a radiografiar entre una fuente radioactiva y una pantalla fotosensible a la radiación.

Técnica de ultrasonido

Son ondas de frecuencia altas superiores a las que detecta el oído humano, en torno a los 20 kHz, este método se ha vuelto el más común para detectar grietas, fisuras por fatiga, corrosión o defectos de fabricación. Las ondas de sonido viajan a través del material disminuyéndose lentamente y son reflejadas a la interface, el haz reflejado es mostrado y analizado para definir la presencia y localización de fallas y discontinuidades, también permite estimar el tamaño lo que facilita llevar un seguimiento del estado y evolución. Esta técnica también se usa para identificar fugas localizadas en sistemas de vapor, aire o gas.

Técnica análisis de aceite

El análisis de aceites es una técnica predictiva que ofrece valiosa información, nos indica cuándo se debe intervenir o no en una máquina detectando fallas como:

- *Degradación del lubricante.* - Adelanta o aplaza la sustitución de aceites evitando averías prematuras.

- *Desgaste de componentes.* - Permite localizar con antelación el desgaste de cojinetes, rodamientos, engranajes, obturaciones, etc.
- *Entrada de contaminantes sólidos y líquidos.* - Permite detectar el ingreso de contaminantes sólidos al sistema, por otra parte, detecta la humedad en el aceite o si hay una fuga entre el sistema de refrigeración y de aceite.

Técnica de termografía

“El mantenimiento predictivo cuenta con un método muy eficaz que se sustenta en el hecho de que cuando la temperatura de un equipo se incrementa es porque algo anormal está sucediendo en su operación” (Olarte C, Botero A, & Cañon Zabaleta, 2011). Este método más conocido como Termografía ayuda a detectar fácilmente en cualquier componente, fallos de una manera segura sin interrumpir el funcionamiento de equipo.

La termografía es una técnica de mantenimiento predictivo que usa una herramienta que detecta variaciones de temperatura emitidas por objetos, usualmente los problemas se reflejan en una elevación de temperatura en la parte afectada.

Cámara termográfica. - “Es un equipo que mide la radiación térmica de los cuerpos y la convierte en una imagen invisible de varios colores los cuales están establecidos por su temperatura” (Olarte C, Botero A, & Cañon Zabaleta, 2011). Esta cámara toma dos tipos de lectura, una cualitativa, la cual muestra una imagen denominada termograma con diferentes tonos de color donde se puede distinguir la zona más caliente y la segunda medida cuantitativa, que muestra datos numéricos de las diferentes temperaturas que muestra la cámara.

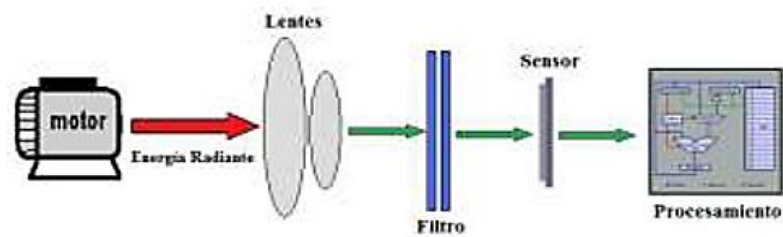


Figura 3. Procesamiento de señal infrarroja.

Fuente: APLICACIÓN DE LA TERMOGRAFÍA EN EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO (Olarte C, Botero A, & Cañon Zabaleta, 2011).

Elaborado por: El investigador.

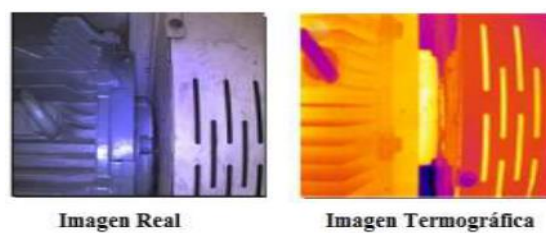


Figura 4. Termografía de motor.

Fuente: APLICACIÓN DE LA TERMOGRAFÍA EN EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO (Olarte C, Botero A, & Cañon Zabaleta, 2011).

Elaborado por: El investigador.

Aplicación de termografía en el mantenimiento predictivo

La cámara termográfica es una herramienta no invasiva que puede ser usada tanto en el diagnóstico eléctrico, mecánico y demás áreas, para poder detectar averías iniciales y poder actuar antes de que se agraven. A continuación, se muestra una clasificación de la aplicación de la termografía en diferentes campos:

Campo eléctrico

- Estado de conexiones y aisladores.
- Estudio e histórico de transformadores.
- Estado de bobinados de motores y generadores.
- Armónicos, inducciones, desequilibrio de fases.

Campo mecánico

- Análisis de motores y generadores.
- Análisis de rodamientos y poleas.
- Diagnostico en sistemas de transmisión.
- Problemas de lubricación.
- Inspecciones de soldadura.

Aplicaciones en proceso

- Estado de válvulas y tuberías.
- Nivel de líquidos.
- Estudio de refractarios.
- Estudio de pérdidas térmicas.
- Fugas de vapor.
- Pérdida de vacío.

Acorde a su aplicación la cámara muestra una serie de colores que indican el tipo de relevancia que muestra el equipo al momento de realizar la termografía y la que muestra el estado del elemento analizado, a continuación, en la Tabla 2 se indica la clasificación de fallas eléctricas con su color característico, esto acorde a la Norma según NETA (National Electric), la cual se podrá usar como parámetro guía para identificar la relevancia de la falla, así como su acción a realizar.

Tabla 2. Clasificación de fallas eléctricas.

Nivel	Δ Temperatura	Clasificación	Acción
1	1°C-10°C O/A ó 1°C a 3°C O/S	Relevancia LEVE	Ver en próximo mantenimiento
2	11°C-20°C O/A ó 4°C a 15°C O/S	Relevancia GRAVE	Darle seguimiento a falla
3	21°C-40°C O/A ó > 15°C O/S	Relevancia CRITICA	Reparar tan pronto como sea posible
4	>40°C O/A ó > 15°C O/S	Relevancia MUY CRITICA	REPARAR INMEDIATAMENTE

Fuente: Tabla de clasificación de niveles de falla según NETA.

Elaborado por: El investigador.

Sistema de corte térmico por plasma

El corte por plasma se basa en la acción térmica y mecánica de un chorro de gas calentado por un arco eléctrico de corriente continua establecido entre un electrodo ubicado en la antorcha y la pieza a mecanizar. El chorro de plasma lanzado contra la pieza penetra la totalidad del espesor a cortar, fundiendo y expulsando el material.

En estos sistemas se emplea una temperatura ideal para calentar y fundir el material mediante un chorro de gas ionizado (plasma). Después de la fusión, el mismo chorro expulsa el material fundido por la parte inferior. Si la boquilla por donde pasa la corriente gaseosa se reduce extremadamente, se origina la llamada “constricción del arco”, con lo que se estará aumentando la resistencia y provocando un mayor calentamiento del gas; esto permite el logro de temperaturas muy elevadas y velocidades similares a la del sonido. A continuación, se observa vemos una representación esquemática del proceso de corte por plasma.

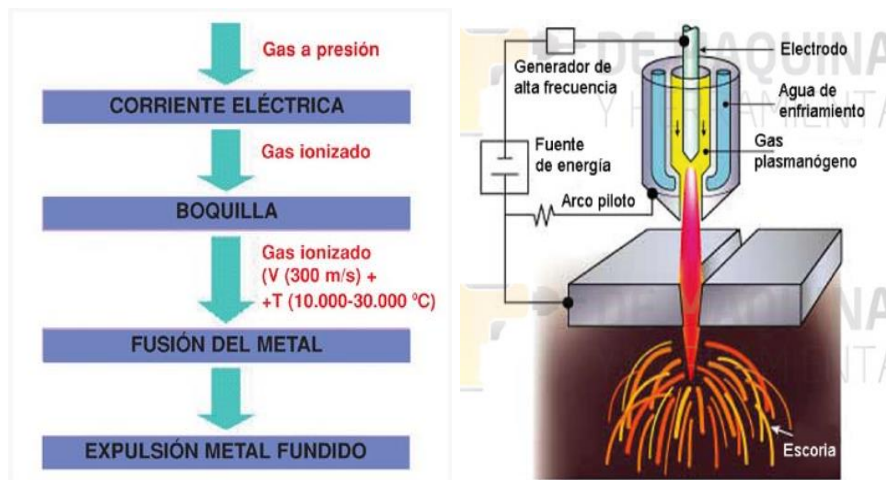


Figura 5. Proceso de corte por plasma.

Fuente: Comparación de tecnologías de corte térmico mecanizado

Elaborado por: El investigador.

Indicadores de mantenimiento

Un indicador es una medida que permite medir ciertos parámetros de cumplimiento y ayuda a evaluar resultados. El mantenimiento de una instalación genera datos, a veces miles de datos, cuyo tratamiento puede convertirse en información útil con un tratamiento adecuado. Con la ayuda de una calculadora, una simple hoja de cálculo o un sofisticado software de gestión de mantenimiento puede obtenerse el valor numérico de estos indicadores. (Moscoso, 2017)

Los indicadores permitirán conocer el grado de cumplimiento de los planes de mantenimiento, capacitación y habilidades del personal de mantenimiento, así como la capacidad de respuesta ante hechos imprevistos por la función mantenimiento. Los indicadores permiten conocer:

- Como se encuentran a producción con respecto a los objetivos.
- Saber el funcionamiento de los equipos.
- Motivar al personal
- Facilitan la revisión de resultados de iniciativas o acciones.

Característica de los indicadores de mantenimiento

Los indicadores deben cumplir ciertas características que, aunque sencillas son importantes y muestran lo que se necesita conocer, así se tiene las siguientes características:

- Pocos y que permitan analizar la gestión.
- Claros de entender y fáciles de calcular.
- Que permitan conocer rápida y fácilmente como van las cosas.

KPI de mantenimiento

KPI, *Key Performance Indicator*, o su traducción, *indicador clave de desempeño*. Son un conjunto de indicadores que ayudan a identificar el rendimiento de una determinada acción o estrategia, indica el nivel de desempeño en base a los objetivos fijados, este indicador debe ser medible, cuantificable, específico, temporal y relevante. Estos indicadores son seis:

- Indicadores de disponibilidad
- Indicadores de fiabilidad
- Indicadores de gestión de órdenes de trabajo
- Indicadores de coste del mantenimiento
- Indicadores de gestión de repuestos y consumibles de mantenimiento
- Indicadores de personal y su rendimiento

“Cada categoría tiene sus indicadores y cada uno ofrece información para conocer el estado del mantenimiento, la gestión que se realiza y su evolución para facilitar la toma de decisiones”. (García Garrido, 2009 - 2019)

Clasificación de indicadores

Los indicadores que permiten medir la gestión y su impacto se agrupan en cuatro grupos:

- Indicadores de eficiencia (Eficiencia en la Gestión de Mantenimiento).
- Indicadores de efectividad (Desempeño del Equipo).
- Indicadores de costo (Desempeño de Costos).
- Indicadores de seguridad.

Indicadores de clase mundial

Se los reconoce o llama así debido a son usados con la misma expresión en todos los países donde se aplica el mantenimiento. Estos indicadores son los siguientes:

MTBF - Tiempo medio entre fallas

“Este indicador muestra el tiempo promedio que es capaz de operar un equipo sin interrupciones en la jornada”. (Garrido, 2003).

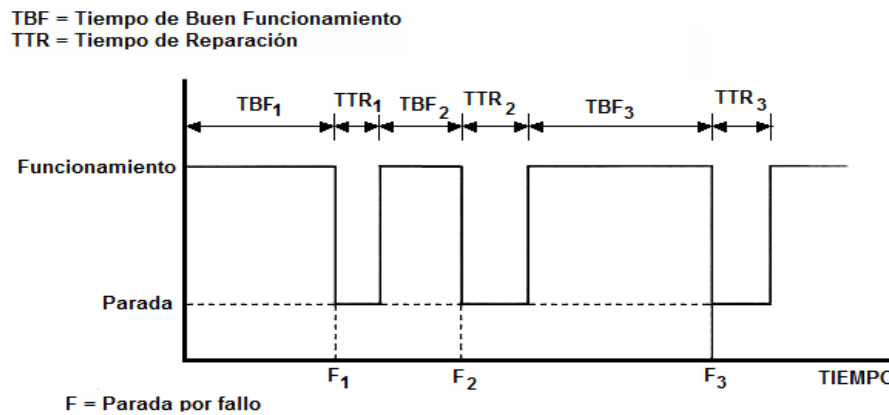
$$MTBF = \frac{\text{Tiempo total de operación}}{\text{Número de fallas}}$$

MTTR - Tiempo medio entre paras

“Este indicador permite determinar el tiempo promedio que se demora en reparar un equipo tras una falla”. (Garrido, 2003).

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo total de inactividad por Mtto. correctivo}}{\text{Número de fallos}}$$

Interpretación de MTBF y MTTR



$$MTBF = \sum_{n=1}^n \frac{TBF_n}{n} = \frac{TBF_1 + TBF_2 + TBF_3}{3}$$

$$MTTR = \sum_{n=1}^n \frac{TTR_n}{n} = \frac{TTR_1 + TTR_2 + TTR_3}{3}$$

Figura 6. Interpretación del MTBF y MTTR.

Fuente: TEORÍA Y PRÁCTICA DEL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL AVANZADO (González Fernández, 2007).

Elaborado por: El investigador.

Disponibilidad

“Es el indicador muestra el porcentaje de tiempo en el que el equipo estuvo disponible para la producción”. (Garrido, 2003).

$$Disponibilidad = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

Confiabilidad

“Es definida como la confianza que se tiene de que un equipo funcione correctamente, durante un determinado período de tiempo establecido y bajo condiciones normales de operación”. (MESA GRAJALES, ORTIZ SÁNCHEZ, & PINZÓN, 2006). Se puede calcular mediante la distribución de Weibull.

Distribución de Weibull aplicada al mantenimiento

“La distribución de Weibull es ampliamente utilizada para calcular la confiabilidad de artefactos eléctricos y electrónicos, para el análisis de la fatiga y vida de componentes y materiales”. (Ramírez Castaño, 2014)

Es una distribución de probabilidad continua y recibe su nombre de Waloddi Weibull, quien la describió en 1951. Representa la probabilidad de fallo después de un tiempo t ($R(t)$) en función del tiempo transcurrido, $R(t)$ es la probabilidad de que los componentes de un conjunto sobrevivan hasta el momento t .

Weibull es una función de tres parámetros, la variabilidad que tiene la función se apoya en las diferentes formas que adopta dependiendo de los valores de sus parámetros, también provee un simple y poderoso gráfico donde se observa, medición de vida, arranques, paradas, operación, etc. (Salazar Moreno, Rojano Aguilar, Figueroa Hernández , & Pérez Soto, 2013)

La ecuación que representa a esta función es la siguiente:

$$R(t) = e^{-\left[\frac{t-y}{n}\right]^\beta}$$

Donde:

R(t): Confiabilidad de un equipo en un tiempo t dado

e: Constante Neperiana (e=2. 303..)

β: Parámetro de forma, es la constante que controla la forma de la curva. β, es la pendiente de la recta de regresión.

n: Parámetro de escala, también llamado de vida característica representa el tiempo en que el 63,2 % de la muestra se ha reparado (para la mantenibilidad), está en función del intercepto *b* de la recta de regresión.

Y: Parámetro de origen, indica, en el tiempo, a partir del cual se genera la distribución.

t: Parámetro de localización, en tiempo.

IC - Indicador de cumplimiento

“Nos permite determinar la proporción de órdenes que se realizaron en la fecha programada. Miden el grado de acierto de la planificación”. (Garrido, 2003)

$$IC = \frac{\text{Mantenimiento ejecutado}}{\text{Mantenimiento programado}} * 100\%$$

Estrategias de mantenimiento predictivo

Ballesteros (2011), menciona que: “la aplicación de la estrategia predictiva en el mantenimiento industrial ha reportado enormes ahorros a aquellas compañías que han sabido aplicar las estrategias más adecuadas para cada activo”. La gran parte de empresas realizan una programación de mantenimiento tomando en cuenta las horas de trabajo o averías que aparecen inesperadamente, sin tomar en cuenta que existen varias estrategias que se pueden aplicar en los equipos.

A continuación, en la Figura 7, se muestra la clasificación de estrategias de mantenimiento, Costo-Beneficio vs Dificultad de implantación.



Figura 7. Estrategias en función de su relación costo-beneficio y de la dificultad para su implantación.

Fuente: La estrategia predictiva en el mantenimiento industrial (Ballesteros Robles, 2011).

Elaborado por: El investigador.

Una de las estrategias es el mantenimiento preventivo que evita averías, pero en la realización del mismo (desmontaje, montaje y calibración), se ocasionan otras averías que conllevan a un alto costo debido a:

- La sustitución de componentes en buenas condiciones.
- Mano de obra asociada a estas intervenciones innecesarias.

Muchas compañías consideran inútiles los trabajos de mantenimiento preventivo, cuando se puede realizar una supervisión del estado de la maquinaria por algún medio o estrategia, como la predictiva. Este tipo de estrategias se pueden programar o no, dependiendo del origen de cada intervención que puede darse por una acción reactiva, preventiva o predictiva (Ballesteros Robles, 2011, pág. 4). En la Figura 8, se muestran las programaciones de las diferentes intervenciones de mantenimiento.



Figura 8. Programación de intervenciones de mantenimiento.

Fuente: La estrategia predictiva en el mantenimiento industrial (Ballesteros Robles, 2011).

Elaborado por: El investigador.

Actualmente, las filosofías predictivas se aplican en la maquinaria crítica en aquellas plantas que cuentan con una gestión optimizada de activos. El mantenimiento predictivo optimiza al mantenimiento preventivo de manera que determina el momento preciso para cada intervención de activos industriales. El mantenimiento predictivo es un conjunto de técnicas instrumentadas de medida y análisis de variables para caracterizar en términos de fallos potenciales la condición operativa de los equipos productivos. Su misión principal es optimizar la fiabilidad y disponibilidad de equipos al mínimo costo. (Ballesteros Robles, 2011, pág. 5).

A continuación en la Figura 9, se muestra y comparar el impacto que tienen los diferentes tipos de mantenimiento, el mantenimiento reactivo o correctivo tiene un mayor tiempo improductivo y sucede cuando la falla es inevitable, el preventivo tiene menos tiempo improductivo y no es para que se presente una falla, pero tiene más intervalos de tiempo planificados lo que aumenta su tiempo improductivo, el predictivo tiene menos tiempo improductivo, menos intervalos planificados y se realiza antes que ocurra la falla previo realización de un estudio o aplicación de una técnica predictiva.

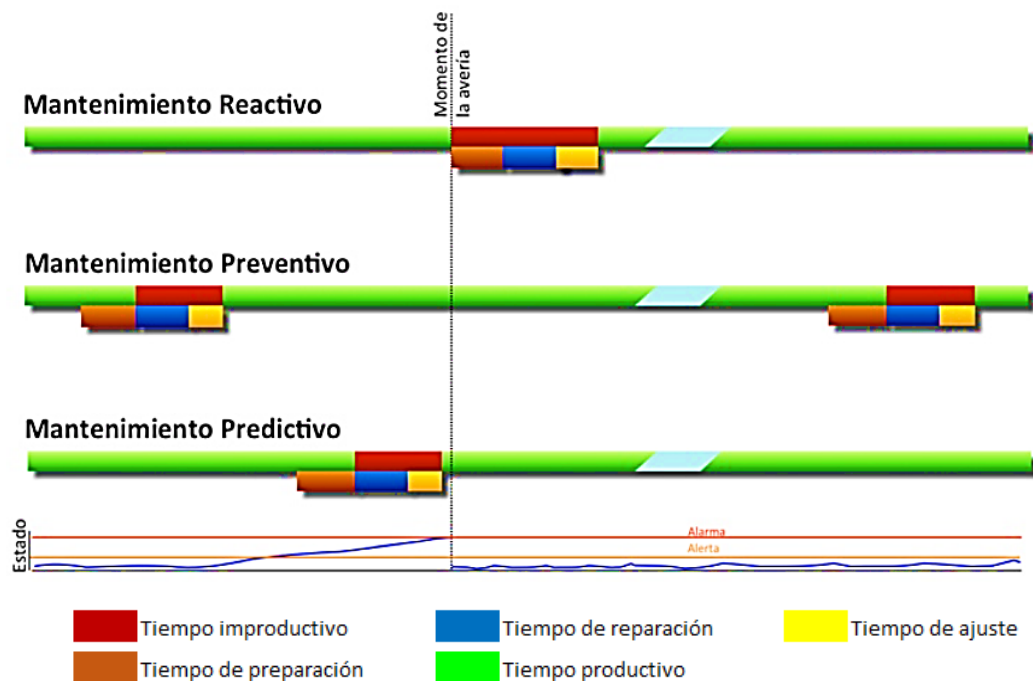


Figura 9. Impacto de las paradas por intervenciones en las máquinas según una estrategia reactiva, preventiva o predictiva.

Fuente: La estrategia predictiva en el mantenimiento industrial (Ballesteros Robles, 2011).

Elaborado por: El investigador.

Antecedentes

SEDEMI, es una empresa ecuatoriana especializada desde 1985, en la fabricación de estructuras metálicas y que acorde su proyección de desarrollo en el mercado, ha visto la necesidad de adquirir nueva maquinaria con tecnología actualizada que le permita competir en sus diferentes líneas al elaborar eficazmente sus productos. Con la integración de estos equipos aparecen varios sistemas y partes, con fallos que no pueden ser corregidos fácilmente por su complejidad, lo que ocasiona paras de producción y equipos debido al tiempo que toma en identificar y resolver los fallos.

Abastecimiento corte térmico es el área principal dentro de la empresa SEDEMI., esta área requiere disponibilidad de funcionamiento el mayor tiempo posible, ya que en ella se procesa toda la materia prima que servirá para continuar con otros procesos de fabricación de diferentes productos. Actualmente en esta área se aplica el mantenimiento preventivo, con el cual se ha ido identificando partes

que no se pueden inspeccionar o acceder fácilmente, a esto se suma la nueva maquinaria con la que se cuenta en el área y que sus partes principales requieren una inspección personalizada que no interfiera en el funcionamiento de la máquina, usando dispositivos especializados que permiten realizar un análisis completo del estado de la parte y su funcionamiento de una manera funcional y controlada.

Actualmente en la empresa se ha venido implantando y mejorando paso a paso el tema referente a mantenimiento, en primeras instancias se contaba con una cuarta parte de maquinaria al que actualmente se tiene y todos los mantenimientos que se aplicaban eran netamente correctivos deteniendo la producción por largo lapsos de tiempo, estos estaban altamente presentes en cada equipo, con la necesidad de la empresa de aumentar su espacio, maquinaria y de cumplir con la certificaciones ISO, se implementa el mantenimiento preventivo, el cual en un principio fue difícil de implantar ya que no se aceptaba las paradas programadas por parte de producción y en muchos casos el preventivo sobrepasó las horas planificadas debido a que en las revisiones se presentaban problemas y averías que necesitaban ser resueltas para garantizar el funcionamiento esto debido a que las máquinas no fueron revisadas anteriormente por varios años, una vez aplicado el mantenimiento preventivo la cantidad de fallas correctivas disminuyeron y la producción contaba con más tiempo de funcionamiento de la maquinaria, una vez aplicado el preventivo y con el paso de las revisiones se localizan varios sistemas y elementos que no se pueden revisar fácilmente con los mantenimientos preventivos, con la aparición de nuevas técnicas y tecnología de revisiones de sistemas o elementos estándar en las máquinas, aparecer empresas que ofrecen este tipo de revisiones y se empieza a hablar de mantenimientos o revisiones predictivas para poder adelantarse al fallo o avería de sistemas o partes asegurando un mayor tiempo de funcionamiento del equipo, es aquí donde se analiza la propuesta de diseñar un plan de mantenimiento predictivo para las máquinas principales del área de abastecimiento, complementado el mantenimiento preventivo que se aplica actualmente.

Aisladamente se han realizado análisis predictivos en máquinas puntuales solamente por propuestas gratuitas de proveedores, sin tomar en cuenta las ventajas

de este tipo de intervenciones, con el aumento de la maquinaria, se hace necesario complementar el mantenimiento preventivo que actualmente se aplica para poder tener un seguimiento de partes críticas y evitar tiempos de para. En concordancia con la problemática que actualmente está experimentando la empresa, se considera investigaciones anteriormente realizadas en torno al mantenimiento predictivo en el contexto ecuatoriano, con el objetivo de tener una base para el desarrollo del presente estudio.

Una de las investigaciones referenciadas es la denominada: Diseño de un Programa de Mantenimiento Preventivo, Predictivo y Correctivo del Sistema Hidráulico Contra Incendio basado en NFPA 25 de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil, realizada por (Ramírez, 2015), se centra en realizar el diseño del programa utilizando la información técnica de la maquinaria, para seleccionar el tipo de mantenimiento aplicable y evaluando los diferentes equipos que se utilizan en el sistema contra incendios basado en agua como son Bombas, Reservorios, Mandos Eléctricos, Cañerías y Bocatomas.

Con el resultado de esta investigación se tiene un acercamiento tanto al mantenimiento preventivo como predictivo, pues los dos forman parte fundamental del funcionamiento de operativo de la empresa. Al mostrar un análisis para la selección de estos dos tipos de mantenimiento se tiene una base para la toma de decisiones que pueden ayudar a optimizar los procesos de predicción de las maquinas del área de abastecimiento corte térmico, y con esto mejorar el alcance de plan de mantenimiento predictivo en la empresa SEDEMI.

Justificación

La investigación es importante puesto que dentro de los parámetros productivos de la empresa SEDEMI., es necesario desarrollar una planificación de mantenimiento en todos los aspectos, que busque en todo momento mejorar la productividad, confiabilidad y disponibilidad, por lo que el desarrollo de este estudio será fundamental para que la maquinaria del área de abastecimiento corte

térmico pueda operar, disminuyendo las deficiencias generadas por el funcionamiento prolongado de los equipos debido a la necesidad de la producción. Esto considerando que el objetivo de toda empresa es mantener una cuota creciente de producción que le permita entregar al mercado productos de calidad para obtener mayores beneficios.

Adicionalmente, el impacto que tendrá el desarrollo de esta investigación se evidenciará en la continuidad de la producción, lo que le permitirá a la empresa mejorar su rendimiento en el mercado para incrementar su cuota productiva, haciendo que progresivamente sus ingresos y utilidades aumente, no obstante, esto también impactará de forma directa en los costos de producción, pues los rubros destinados a reparaciones disminuirán considerablemente.

Una vez realizado, el plan de mantenimiento predictivo es útil para la empresa SEDEMI., pues se tiene un plan de revisiones establecido para el tratamiento adecuado de las partes principales de la maquinaria crítica del área de abastecimiento corte térmico, una vez controlado este sistema se podrá replicar las acciones enfocadas hacia el mantenimiento predictivo en otras máquinas del área.

Los beneficiarios de esta investigación serán en primera instancia los propietarios de la empresa que mediante el plan podrán mejorar su producción y recibir mayores beneficios que le permitirán invertir en mejoras para incrementar la productividad; en segunda instancia se verán beneficiados los trabajadores, que contarán con equipos y maquinaria eficiente, disminuyendo posibles paras o accidentes de trabajo; finalmente el departamento de mantenimiento también será beneficiado ya que podrá tener un control de la maquinaria y disponer de mayor tiempo para poder solventar averías ordenadamente, alargando la vida útil de las maquinaria y contribuyendo con el mejoramiento de la producción.

La propuesta es factible puesto que se cuenta con la aprobación por parte de la gerencia de la empresa para levantar la información y datos necesarios para el análisis de máquinas y el diseño del plan de mantenimiento predictivo, así también

existe la colaboración por parte del área de mantenimiento y los operadores de la maquinaria para conocer de cerca el funcionamiento y poder verificar físicamente las partes, todo esto influye en la factibilidad para el desarrollo de la investigación.

Objetivo general

Diseñar un plan de mantenimiento predictivo mediante la aplicación de la técnica termográfica para el mejoramiento de la confiabilidad y disponibilidad de la maquinaria crítica en el área de abastecimiento corte térmico de la empresa SEDEMI.

Objetivos específicos

- Identificar los equipos integrados dentro del proceso productivo, mediante un análisis de criticidad estableciendo la prioridad de intervención.
- Describir los componentes críticos de la maquinaria, para el conocimiento de su función dentro del proceso productivo, con la utilización de información de los manuales técnicos de la empresa.
- Analizar información de mantenimientos correctivos de los equipos críticos, mediante la revisión de información del área de mantenimiento para poderlos comparar con la aplicación de la técnica predictiva.
- Realizar el plan y cronograma de mantenimiento predictivo con la información obtenida de los componentes críticos e información de manuales técnicos para establecer la frecuencia de revisión adecuada de los componentes.

CAPÍTULO II

INGENIERÍA DEL PROYECTO

Diagnóstico de la situación actual de la empresa

Los procedimientos de mantenimiento que se usan en la empresa SEDEMI tienen como objetivo lograr que las maquinas cuenten con una confiabilidad y disponibilidad adecuada en sus diferentes líneas de producción garantizando el funcionamiento y avance de la producción. Con la actualización de la industria, tecnología y técnicas en cuidados de máquinas, la empresa da a notar que este proceso debe actualizarse para poderlo aplicar de tal manera que no se genere interrupciones del funcionamiento en equipos que son importantes asegurando su manejo por más tiempo en la jornada de trabajo.

Sin embargo, en la empresa actualmente se cuenta con el mantenimiento preventivo y correctivo que en muchos casos hacen un uso ineficiente del tiempo y de los recursos del área de mantenimiento de la empresa. Al desperdiciar el tiempo por paradas programadas y no programadas, hacen que la maquinas sean menos confiables y estén menos disponibles viéndose reflejado esto en la producción.

El área de abastecimiento corte térmico es una de las principales y cuentan con maquinaria especial la cual procesa toda la materia prima, estas cuentan con un sistema de corte térmico por plasma, que debe ser revisado y tratado de forma especial debido a su complejidad, en mucho de los casos el mantenimiento preventivo no es suficiente para garantizar un buen funcionamiento, debido a que se requiere nuevas técnicas de revisión con la maquina en funcionamiento para ser analizadas en tiempo real.

Para empezar con el estudio de la maquinaria, se realiza un levantamiento de la distribución de áreas y ubicación de equipos que van a ser considerados para realizar el estudio dentro de la empresa SEDEMI, la Figura 10, muestra la distribución física del área abastecimiento corte térmico y ubicación de maquinaria.

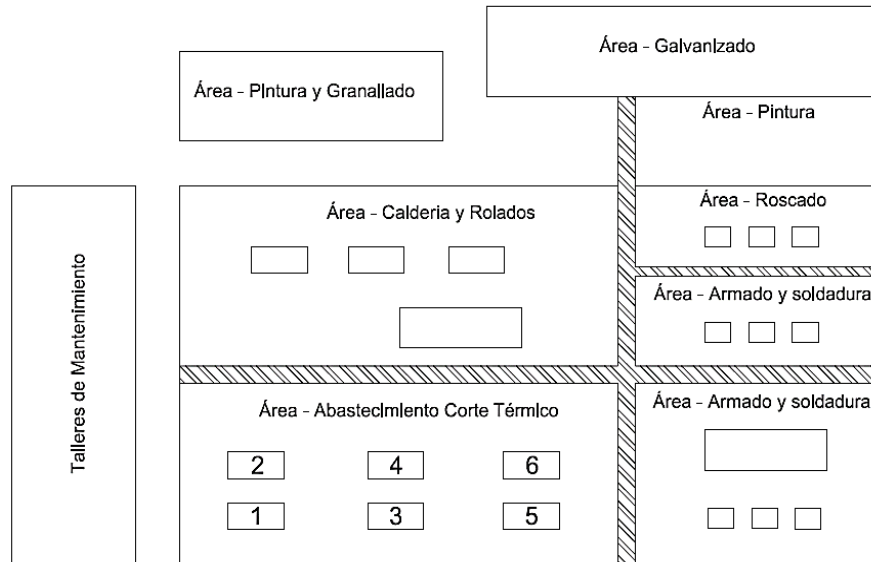


Figura 10. Layout ubicación de área y maquinaria abastecimiento corte térmico.

Fuente: SEDEMI.

Elaborado por: El investigador.

- 1.- Mesa de corte Koike 310.
- 2.- Mesa de corte Tecoi 4500.
- 3.- Sierra de cinta Peddinghaus 1100 DG.
- 4.- Procesadora de Placas Kf 2512.
- 5.- Perforadora Peddinghaus PCD 1100.
- 6.- Sierra de cinta Birlik ALF 460.

Una vez identificados, se observa la ubicación de los equipos de corte térmico como la mesa de corte Koike 310, mesa de corte Tecoi 4500 y procesadora de placas Kf 2512 en el layout de área, también se obtiene información del año 2018 hasta mayo del 2019, de mantenimientos correctivos, esta información es recopilada del formato físico interno del departamento de mantenimiento de la empresa SEDEMI y el cual lleva el nombre de FORMAN 02 SOLICITUD DE MANTENIMIENTO.

Las solicitudes de mantenimiento son presentadas por cualquier funcionario o personal de la empresa. Para el caso de las máquinas y herramientas de producción deben remitirlas por escrito al Asistente de Mantenimiento Utilizando el formato SOLICITUD DE MANTENIMIENTO FOR MAN 02, adjuntando todos los soportes que respalden su utilidad o conveniencia. (SEDEMI, 2016).

		MANTENIMIENTO				FOR MAN 02	
		SOLICITUD DE MANTENIMIENTO				VER: 04	
		Nº 0010481				FECHA: 16 02 18	
CORRECTIVO	☒	CORR PROV		RUTINA		MANT. ELECT / MEC	ELECTRICO
INFORMACIÓN SOLICITANTE							
FECHA DE PARO	Lunes 17 de Diciembre de 2018			FECHA DE INGRESO	17-12-2018		
HORA DE PARO	08:00			HORA DE INGRESO	8:30		
REPORTADO POR	Dro Lugo Fausto Daniel			RECIBIDO POR	Dro Lugo		
DATOS DE MAQUINARIA							
ÁREA	Abastecimiento.			MAQUINA	Máquina de plasma KF		
COORDINADOR	Henry Hual			SUPERVISOR	Edgar Huaypo.		
DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA:				OPERADOR Danilo Cruzatamin			
1) Riel de la masa basculante flota. 2) Problema con el plasma no manda la señal para realizar el corte.							
DESCRIPCIÓN DE SOLUCIÓN:							
- SE REEMPLAZA EL RELE DE ARCO PILOTO, ESA ES LA CAUSA DEL PROBLEMA. 9:30/10:30							
OBSERVACIONES ENCONTRADAS:							
ENTREGA DE MAQUINARIA EN FUNCIONAMIENTO							
ENTREGADO A: Santiago Quispe				REALIZADO POR: Jimmy SUTAXI / Danilo G			
FECHA: 17-12-2018				FECHA: 17-12-2018			
HORA: 10:30				HORA: 10:30			

Figura 11. FORMAN 02 Solicitud de Mantenimiento

Fuente: SEDEMI.

Elaborado por: El investigador.

Con la información obtenida se realiza el análisis de averías presentes en forma general de los equipos de corte térmico de al área de abastecimiento, que se presenta a continuación en la Figura 12, para analizar el tipo de falla predominante en los equipos.

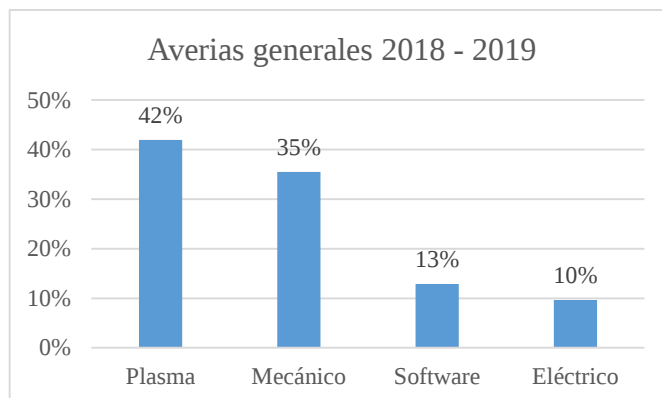


Figura 12. Averías generales en equipos corte térmico.

Fuente: SEDEMI.

Elaborado por: El investigador.

El 42% de averías están presentes en el sistema de plasma, dentro de estas averías se consideran toda las de tipo, motores, fugas, elementos mecánicos. Todos los equipos de corte térmico usan el sistema de plasma ya que es una de su principal característica que les permite realiza el corte, dando forma a la materia prima acorde a los diseños de ingeniería.

El 35% de averías tiene que ver con el sistema mecánico en general de las máquinas, en estas averías se considera todas las de tipo mecánico mayores y menores que han sido reportadas.

El 13% de averías son ocasionadas por el software, estos equipos son manejados con programas especiales que interpretan los datos y controlan el sistema de plasma al momento de realizar el corte térmico, estos no están libres de virus y fallas de configuración por cortes de energía.

El 10% de averías son de origen eléctrico, en la que se tiene instrumentos de control, cableado, los más comunes. A continuación, en la Figura 13. Averías Koike, Figura 14. Averías Kf 2512, Figura 15. Averías Tecoi, se organiza los datos de cada equipo y se muestra los porcentajes de cada falla presente.

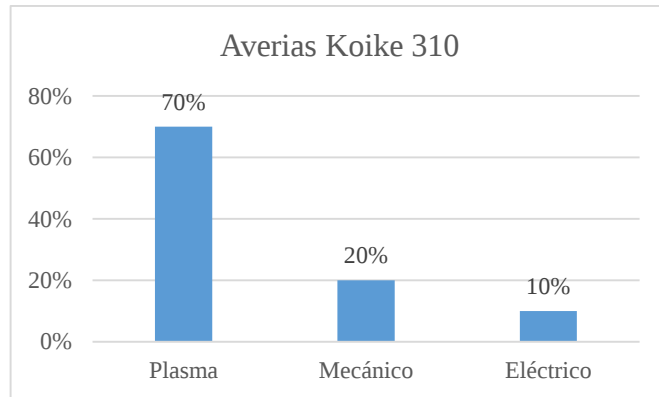


Figura 13. Averías mesa de corte Koike 310.
Fuente: SEDEMI.
Elaborado por: El investigador.

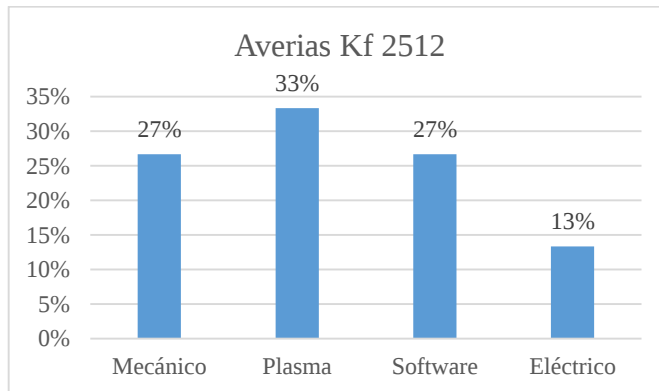


Figura 14. Averías procesadora de placas Kf 2512.
Fuente: SEDEMI.
Elaborado por: El investigador.

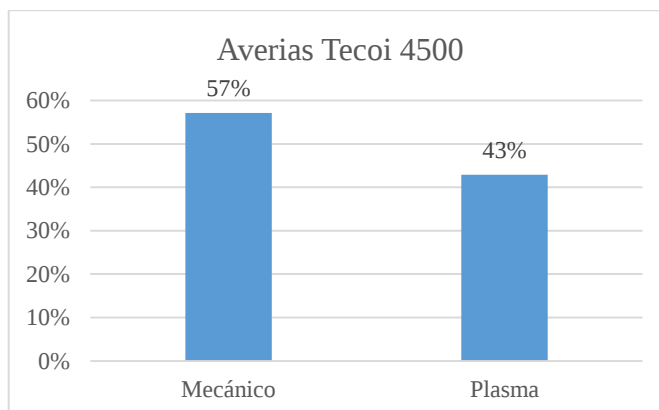


Figura 15. Averías mesa de corte Tecoi 4500.
Fuente: SEDEMI.
Elaborado por: El investigador.

El porcentaje de fallas presentes en el sistema de plasma es mayor en la mesa de corte Koike 310, esta fue una de las primeras máquinas adquiridas con este tipo de tecnología, luego están los equipos Kf 2512 y Tecoi 4500, que son equipos más actuales, como se puede observar las fallas en el sistema mecánico son mayores, no obstante, las averías del sistema de plasma están en el segundo lugar.

Una vez realizado el análisis se observa que no existe una adecuada información sobre la maquinaria crítica y sobre técnicas de mantenimiento predictivo que se puedan aplicar en las mismas, razón por la cual se busca realizar un estudio de los equipos importantes del área de abastecimiento y sus partes en las que se debe aplicar una técnica de mantenimiento predictivo para asegurar su funcionamiento, razón por la cual se busca levantar información y diseñar el plan de mantenimiento predictivo para estos equipos que son importantes en la producción.

Definición del plan de mantenimiento predictivo

El plan de mantenimiento predictivo es un programa de tareas y procesos de manutención anual programado, organizado y estructurado sobre la base de unidades técnicas, especificando detalles de fechas y tipos de trabajos que se realizan a una serie de, instalaciones y equipos de una empresa, toda la maquinaria que está en el plan de mantenimiento tiene la característica de tener recomendaciones de manutención del fabricante en función de las horas de servicios. Siempre los activos críticos deberán ser considerados primordiales en la elaboración y ejecución del plan por parte del personal técnico. Las etapas para la elaboración de un plan de mantenimiento predictivo anual son:

1. Determinación de la maquinaria crítica, sobre la base de los análisis de parámetros establecidos, los cuales están relacionados con el proceso.
2. Determinación de recomendaciones, recurrencias y necesidades de mantenimiento establecidas por el fabricante y avances realizados en el campo.
3. Planificación de tareas de mantenimiento en función del tiempo y recurrencias establecidas y que deben ser analizadas y registradas.

4. Determinación de los recursos necesarios y asignación de tareas al personal técnico que realiza las tareas de mantenimiento.
5. Definición de controles a cumplir y monitoreo del programa.

La amplitud general del plan de mantenimiento de una empresa estará en función directa de los siguientes factores:

1. Evaluación de presupuesto de operación y aprobación de gerencia.
2. Condiciones estándares de los equipos que dispone la empresa.
3. Prioridades definidas por la empresa y las buenas prácticas de mantenimiento con relación a cada equipamiento de la empresa.

Área del estudio

Dominio: Tecnología Empresa, Empleados y Sociedad

Línea de Investigación: Empresarial y productividad

Campo: Ingeniería Industrial

Área: Departamento de producción, abastecimiento

Aspecto: Mantenimiento preventivo, predictivo

Objeto de estudio: Diseño, seguimiento y control

Periodo de análisis: Enero 2018 – mayo 2019

Modelo operativo

La metodología de investigación usada será la de tipo aplicada y la modalidad de investigación de campo, ya que es necesario recopilar información que ayudará a definir un plan de mantenimiento predictivo en los equipos críticos. La aplicación del plan predictivo está compuesta por un conjunto de actividades que conforman el proceso del mantenimiento como tal, por lo cual se detallan a continuación en la Figura 16, con el objetivo de mantener una estructura lógica y organizada para que se pueda conseguir los resultados esperados. Estos resultados deben ser medibles mediante los KPI'S para mejorar constantemente los procesos productivos, estos indicadores permiten medir constantemente el rendimiento de los equipos en la empresa. Para esto se han generado indicadores de seguimiento y control que

permiten seguir el desempeño de los equipos, con el objetivo de incrementar su confiabilidad y disponibilidad y programar una producción eficiente.

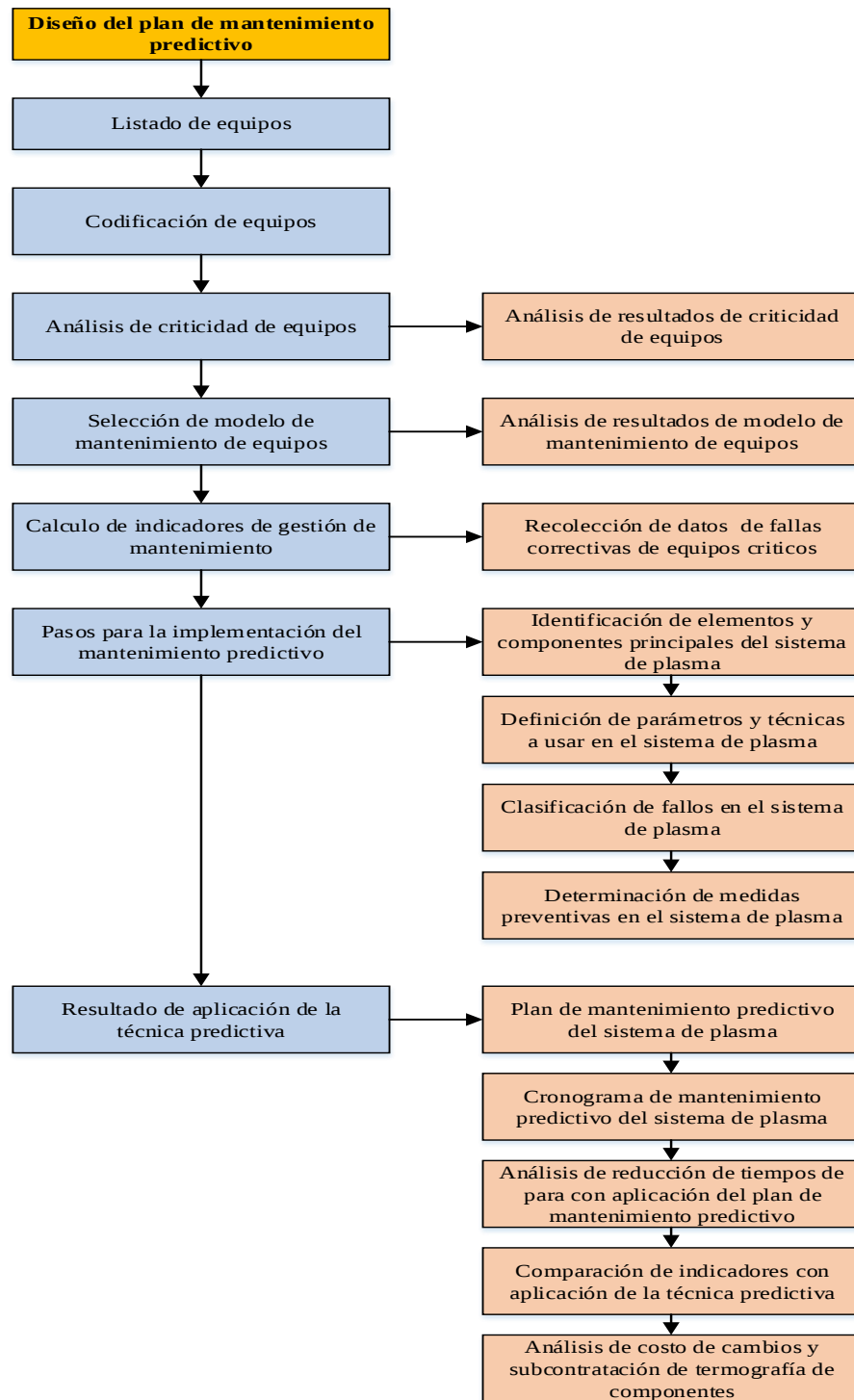


Figura 16. Diagrama de modelo operativo.

Fuente: El investigador.

Elaborado por: El investigador.

Listado de equipos

En esta primera parte se identifica todos los equipos del área de abastecimiento corte térmico, en la Figura 10. Layout ubicación de área y maquinaria abastecimiento corte térmico se observa la ubicación de cada equipo que interviene en el proceso productivo y se realiza un listado de equipos existentes, así como una descripción básica de los sistemas que usa cada equipo del área.

Codificación de equipos

Una vez identificada el área y el tipo de equipos existentes se procede a realizar la codificación, la cual consiste en dar un nombre mediante letras las cuales deben proveer información básica y concreta del área y tipo de máquina, esta codificación debe ser fácil de interpretar y debe servir de información al personal técnico de mantenimiento, para facilitar de una manera compacta la interpretación de información.

Análisis de criticidad

En este análisis abarca todos los equipos del área de estudio y evalúa una serie de parámetros (importancia, seguridad, ambiente, etc.), los cuales tiene un valor que sumados al final muestran la criticidad del equipo, dividiéndose esta en críticos, importante y prescindible, siendo el crítico el más importante y al que se debe prestar atención inmediatamente.

Selección de modelo de mantenimiento de equipos críticos

La selección del modelo de mantenimiento depende del tipo de análisis de criticidad resultante ya que acorde a su resultado se divide en varios tipos de modelo de mantenimiento como son modelo programado y correctivo, este estudio está centrado en los equipos críticos para poder escoger el modelo de mantenimiento programado dentro del cual se encuentran los modelos de alta disponibilidad, sistemático y condicional.

Cálculo de indicadores de gestión de mantenimiento

Con los resultados obtenidos se genera un informe, con el fin de realizar un filtro de los datos y estudiar puntos específicos y no toda la información. Para este análisis se toman los indicadores de gestión de mantenimiento o KPI'S (*Key Performance Indicator*), con los cuales se tendrá una visión del desempeño de los equipos. Los indicadores que se usaran son:

- MTBF - Tiempo Promedio Entre Fallas.
- MTTR - Indicador Tiempo Promedio Entre Paradas.
- Indicador de disponibilidad
- Confiabilidad
- IC - Indicador de Cumplimiento

Pasos para la implementación del mantenimiento predictivo

Con el análisis de datos obtenidos del departamento de mantenimiento de la empresa SEDEMI., se identificará el sistema que más incidencia tenga dentro de los equipos críticos y se buscará los componentes asociados a las averías para poder definir los parámetros y técnicas predictivas que serán usados para su revisión, se clasificará el tipo de fallo que presenten y finalmente se sugerirá las medidas correctivas a tomar para evitar las averías.

Resultado de aplicación de la técnica predictiva

Una vez realizados todos los pasos se identifican los puntos que ayuden a aplicar un plan de mantenimiento predictivo de una mejor manera y progresivamente siendo un complemento del mantenimiento que se aplica actualmente en planta. Una vez implementado todos los pasos mencionados anteriormente se podrá tener una visión clara de la información pertinente y de como esta se puede orientar al mantenimiento predictivo de los equipos críticos, en este punto se definirán los planes y cronogramas a seguir para lograr el objetivo aplicándolo en un año y pudiendo extenderlo acorde a la necesidad de la maquinaria.

CAPÍTULO III

PROPUESTA Y RESULTADOS ESPERADOS

Presentación de la propuesta

Actualmente la empresa ha evolucionado en el área de mantenimiento debido al aumento de maquinaria, por lo que se ve necesario dar un siguiente paso complementando los mantenimientos que se manejan actualmente, con el diseño de un plan de mantenimiento predictivo en la empresa SEDEMI., este plan se realiza con el fin de aumentar la confiabilidad y disponibilidad a los equipos críticos de producción en el área de abastecimiento corte térmico, ya que al ser una de las áreas principales donde se transforma el material que usan los demás procesos, es importante que funcione adecuadamente dentro de la jornada de trabajo.

Para el diseño del plan predictivo en la planta de SEDEMI., se investigan técnicas de mantenimiento debidamente seleccionadas en cada sistema que comprende la maquinaria, para así poder dar el seguimiento necesario a los parámetros principales, detectando con anticipación anomalías que pueden ser examinadas, planificada mente y con un tiempo de reacción inmediato sin afectar su funcionamiento, aumentando a la vez la confiabilidad y fiabilidad de los equipos.

Mediante la realización de la investigación se espera identificar las fallas que afectan el sistema de plasma. Utilizando una de las técnicas predictivas como la termografía se pueden revisar todos estos desperfectos y se pueden detectar antes que se conviertan en problemas con repercusiones irreversibles, tanto en la producción, maquinaria y costes de mantenimiento. Para esto es necesario iniciar un seguimiento de parámetros que alertan el inicio de un desgaste y poder establecer, qué nivel es considerado normal y cuál se convierte como inadmisible,

de tal forma que al detectarlo se pueda actuar rápida y pertinentemente para dar confiabilidad y disponibilidad en las máquinas del área corte térmico.

Listado de equipos

Una vez conocida el área se procede a realizar un listado de equipos, esto ayuda a distinguir de forma ordenada la información de cada equipo dentro del área. Para realizar el listado se toma los siguientes puntos:

- Ubicación de la maquinaria.
- Identificar las líneas principales de producción.
- Identificar el tipo de proceso (intermitente, continuo, etc.).
- Nombre del equipo, marca y modelo.

En la Tabla 3, se observa un listado general de las máquinas estacionarias ordenadas de acuerdo a la Figura 10. Layout de ubicación de área y maquinaria abastecimiento corte térmico.

Tabla 3. Listado de equipos abastecimiento corte térmico.

PLANTA	ÁREA	EQUIPO	PROCESO
Producción	Abastecimiento Corte Térmico	Mesa de corte Koike 310	Continuo
		Mesa de corte Tecoi 4500	Continuo
		Sierra de cinta Peddinghaus 1100 DG	Intermitente
		Procesadora de placas Kaltenbach 2512	Continuo
		Perforadora Peddinghaus PCD 1100 3B	Intermitente
		Sierra de cinta Birlik ALF 460	Intermitente

Fuente: SEDEMI.

Elaborado por: El investigador.

Codificación de equipos

Se procede a realizar la codificación de equipos acorde a la Tabla 3. Listado de equipos abastecimiento corte térmico, es conveniente identificar cada equipo con

un código que facilite su localización y referencia en documentos y planificaciones de mantenimiento. Esta codificación expresa información referente a la planta, área, y máquina de la empresa, la codificación que se empleó en la maquinaria del área corte térmico es la significativa, la cual aporta información básica para facilitar su ubicación en planta.

Tabla 4. Codificación de equipos del área de corte térmico.

PLANTA	ÁREA	EQUIPO	CODIFICACIÓN
Producción	Abastecimiento Corte Térmico	Mesa de corte Koike 310	CT-MK-01
		Mesa de corte Tecoi 4500	CT-MT-02
		Procesadora de placas Kf 2512	CT-PK-03
		Sierra de cinta Peddinghaus 1100 DG	CP-SP-04
		Perforadora Peddinghaus PCD 1100 3B	CP-PP-05
		Sierra de cinta Birlik ALF 460	CP-SB-06

Fuente: SEDEMI.

Elaborado por: El investigador.

Análisis de criticidad en equipos

Dentro del área de abastecimiento corte térmico, existen varios equipos que son diferentes por su funcionamiento y también por su importancia, por lo que se realiza el análisis para clasificar los equipos importantes (críticos), a los cuales el cuidado y recursos están destinados en mayor proporción, esta criticidad puede estar dentro de tres tipos:

- A) *Equipos críticos.* Su avería afecta significativamente a los resultados de la empresa.
- B) *Equipos importantes.* Su avería afecta, pero las consecuencias son asumibles.
- C) *Equipos prescindibles.* Su avería no afecta, suponen una pequeña incomodidad”. (Garrido, 2003).

En la Tabla 5, se observa los diferentes puntos que se toma en cuenta para realizar el análisis de criticidad de los equipos del área de corte térmico.

Tabla 5. Tabla propuesta para análisis de criticidad.

Tipo de equipo	Seguridad y medio ambiente	Producción	Calidad	Mantenimiento
A CRÍTICO	Puede originar accidente muy grave.	Su parada afecta al Plan de Producción.	Es clave para la calidad del producto.	Alto coste de reparación en caso de avería.
	Necesita revisiones periódicas frecuentes (mensuales).		Es el causante de un alto porcentaje de rechazos.	Averías muy frecuentes.
	Ha producido accidentes en el pasado.			Consumen una parte importante de los recursos de mantenimiento (mano de obra y/o materiales).
B IMPORTANTE	Necesita revisiones periódicas (anuales).	Afecta a la producción, pero es recuperable (no llega a afectar a clientes o al Plan de Producción).	Afecta a la calidad, pero habitualmente no es problemático.	Coste Medio en Mantenimiento.
	Puede ocasionar un accidente grave, pero las posibilidades son remotas.			
C PRESCINDIBLE	Poca influencia en seguridad.	Poca influencia en producción.	No afecta a la calidad.	Bajo coste de Mantenimiento.

Fuente: Organización y gestión integral del mantenimiento, 2003.

Elaborado por: El investigador.

Seguridad y medio ambiente. Un fallo del equipo puede suponer un accidente muy grave, bien para el medio o para las personas, y que además tenga cierta probabilidad de fallo; es posible también que un fallo del equipo pueda ocasionar un accidente, pero la probabilidad de que eso ocurra puede ser baja; o, por último, puede ser un equipo que no tenga ninguna influencia en seguridad.

Producción. Cuando se valora la influencia que un equipo tiene en producción, la pregunta es cómo afecta a ésta un posible fallo. Dependiendo de que suponga una parada total de la instalación, o de una zona de producción preferente, paralice equipos productivos, pero con pérdidas de producción asumible o no tenga influencia en producción, se clasificara el equipo como A, B o C.

Calidad. El equipo puede tener una influencia decisiva en la calidad del producto o servicio final, una influencia relativa que no acostumbre a ser problemática o una influencia nula.

Mantenimiento. “El equipo puede ser muy problemático, con averías caras y frecuentes; o bien un equipo con un coste medio en mantenimiento; o, por último, un equipo con muy bajo coste, que normalmente no dé problemas”. (Garrido, 2003).

A continuación, se presenta la Tabla 6, análisis de criticidad realizado para el área. En la que se observa un cuadro de puntajes que van del 1 al 10 formando tres grupos y llevan también la letra asignada acorde a la Tabla 5. Tabla propuesta para el análisis de criticidad, el rango de 1 a 3 indica que son valores que no tienen influencia (prescindibles - C), el rango de 4 a 7 indica que son valores a los cuales se debe prestar atención (importantes - B), el ultimo rango de 8 a 10 indica que son valores los cuales se deben atender de forma inmediata (críticos - A).

Ejemplo de análisis de criticidad mesa de corte Koike 310

Paso 1.- Se toma la Tabla 5. Tabla propuesta para el análisis de criticidad, se analiza cada ítem y se escoge el más adecuado acorde al equipo analizado.

Tabla 6. Ejemplo de análisis de criticidad.

Tipo de equipo	Seguridad y medio ambiente	Producción	Calidad	Mantenimiento
A CRÍTICO	Puede originar accidente muy grave.	Superada afecta al Plan de Producción.	Es clave para la calidad del producto.	Alto coste de reparación en caso de avería.
	Necesita revisiones periódicas frecuentes (mensuales).		Es el causante de un alto porcentaje de rechazos.	Averías muy frecuentes.
	Ha producido accidentes en el pasado.			Consumo una parte importante de los recursos de mantenimiento (mano de obra y/o materiales).
B IMPORTANTE	Necesita revisiones periódicas (anuales).	Afecta a la producción, pero es recuperable (no llega a afectar a clientes o al Plan de Producción).	Afecta a la calidad, pero habitualmente no es problemático.	Coste Medio en Mantenimiento.
	Puede ocasionar un accidente grave, pero las posibilidades son remotas.			
C PRESCINDIBLE	Poca influencia en seguridad.	Poca influencia en producción.	No afecta a la calidad.	Bajo coste de Mantenimiento.

Fuente: El investigador.

Elaborado por: El investigador.

Paso 2.- Se coloca valores acordes a los ítems escogidos anteriormente en cada columna propuesta en la Tabla 5. Tabla propuesta para el análisis de criticidad, en los siguientes rangos: 1 a 3 – Prescindible, 4 a 7 – Importante, 8 a 10 Crítico

Tabla 7. Valores por columna de análisis de criticidad.

EQUIPO	SEG. AMB	PROD	CALIDAD
Mesa de corte Koike 310	8	10	10

Fuente: El investigador.

Elaborado por: El investigador.

Paso 3.- Se calcula el promedio general de las columnas horizontalmente y con el resultado se escoge el rango acorde al puntaje general del equipo: 1 a 3 – Prescindible, 4 a 7 – Importante, 8 a 10 Crítico.

Tabla 8. Ejemplo promedió y calificación de criticidad.

EQUIPO	SEG. AMB	PROD	CALIDAD	MTTO	PROMEDIO	CRITICIDAD
Mesa de corte Koike 310	8	10	10	10	10	Crítico

Fuente: El investigador.

Elaborado por: El investigador.

En este caso el análisis de criticidad de la mesa de corte Koike 310, muestra un promedio de 10 puntos al cual indica que el equipo está dentro del rango de crítico. Una vez realizado el análisis de este equipo se toman los demás y se aplica los mismos pasos para el análisis, el mismo permite observar en que rango se encuentran y cual son los más importantes, a continuación, en la Tabla 9, se observa el análisis realizado a los equipos del área.

Análisis de criticidad abastecimiento corte térmico

Empresa: SEDEMI.

Planta: Producción

PUNTAJE	
1-3	Prescindible
4-7	Importante
8-10	Critico

Tabla 9. Análisis de criticidad de equipos abastecimiento corte térmico.

PLANTA	ÁREA	EQUIPO	SEG. AMB	PROD	CALIDAD	MTTO	PROMEDIO	CRITICIDAD
Producción	Abastecimiento Corte Térmico	Mesa de corte Koike 310	8	10	10	10	10	Critico
		Mesa de corte Tecoi 4500	8	10	10	10	10	Critico
		Procesadora de placas Kf 2512	8	10	10	10	10	Critico
		Sierra de cinta Peddinghaus 1100 DG	7	8	7	7	7	Importante
		Perforadora Peddinghaus PCD 1100 3B	7	8	7	7	7	Importante
		Sierra de cinta Birlik ALF 460	8	5	5	6	6	Importante

Fuente: SEDEMI.

Elaborado por: El investigador.

Análisis de resultado de criticidad de equipos

Acorde al análisis de criticidad realizado con la ayuda de la Tabla 9. Análisis de criticidad de equipos abastecimiento corte térmico, se observa tres equipos con un puntaje alto por lo que se toman como críticos dentro del área, en estos equipos se debe poner mayor atención en mejorar su disponibilidad aplicando el mantenimiento predictivo.

Tabla 10. Resumen de análisis de criticidad de equipos críticos.

EQUIPO	PROMEDIO	CRITICIDAD
Mesa de corte Koike 310	10	Critico
Mesa de corte Tecoi 4500	10	Critico
Procesadora de placas Kf 2512	10	Critico

Fuente: SEDEMI.

Elaborado por: El investigador.

El segundo grupo de máquinas acorde a su criticidad son consideradas importantes, no obstante, su mal funcionamiento o falla no es de gran incidencia en la producción, en estas se puede aplicar el mantenimiento preventivo para garantizar su disponibilidad.

Tabla 11. Resumen de análisis de criticidad de equipos importantes.

EQUIPO	PROMEDIO	CRITICIDAD
Sierra de cinta Peddinghaus 1100 DG	7	Importante
Perforadora Peddinghaus PCD 1100	7	Importante
Sierra de cinta BIRLIK ALF 460	6	Importante

Fuente: SEDEMI.

Elaborado por: El investigador.

Una vez identificado los equipos críticos del área, se procede a identificar los sistemas y partes críticas de cada equipo para su revisión.

Selección de modelo de mantenimiento

Acorde al análisis de criticidad realizado en la Tabla 9. Análisis de criticidad de equipos abastecimiento corte térmico, se identifica el tipo de modelo de mantenimiento que debe aplicarse, en los equipos del área de abastecimiento para clasificarlos según su modelo. Esta clasificación se presenta a continuación en la Tabla 12.

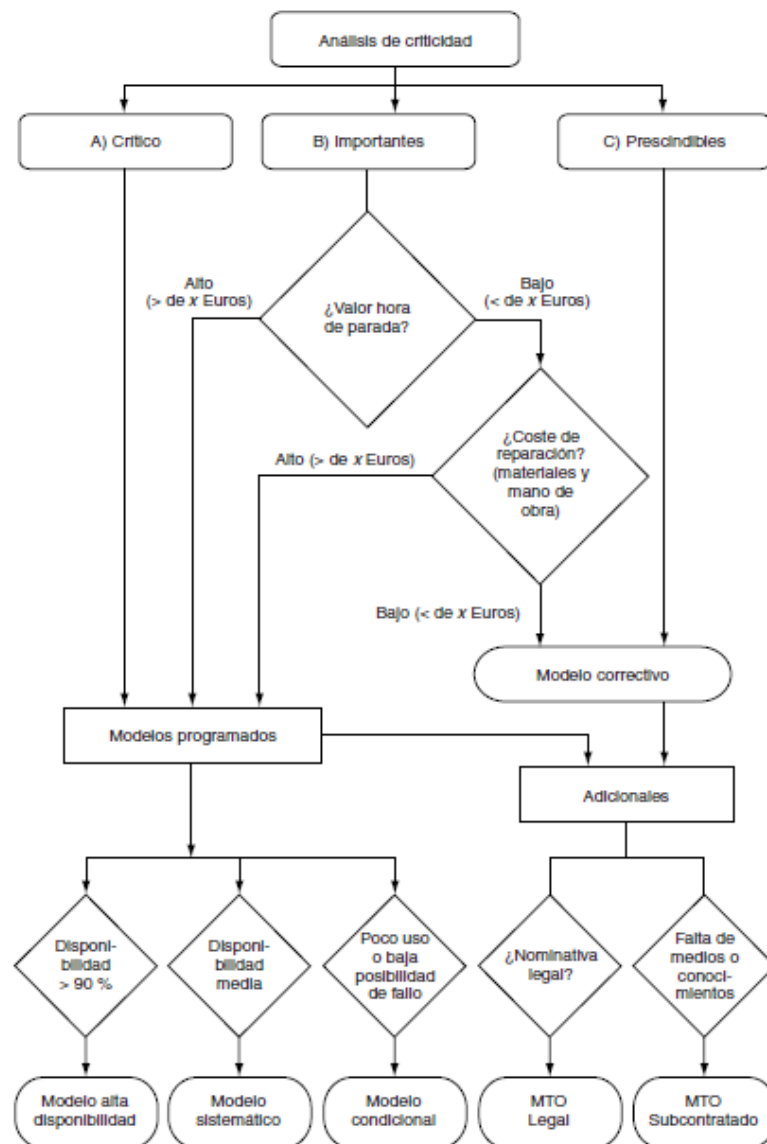


Figura 17. Modelo de fallo.

Fuente: SEDEMI.

Elaborado por: El investigador.

Selección modelo de mantenimiento abastecimiento corte térmico

Empresa: SEDEMI.

Planta: Producción

Tabla 12. Selección de modelo de mantenimiento abastecimiento corte térmico.

PLANTA	ÁREA	EQUIPO	ANÁLISIS	MODELO		
Producción	Abastecimiento Corte Térmico	Mesa de corte Koike 310	Critico	M. Programado	Disponibilidad >90	M. alta disponibilidad
		Mesa de corte Tecoi 4500	Critico	M. Programado	Disponibilidad >90	M. alta disponibilidad
		Sierra de cinta Peddinghaus 1100 DG	Importante	M. Programado	Disponibilidad media	M. sistemático
		Procesadora de placas Kf 2512	Critico	M. Programado	Disponibilidad >90	M. alta disponibilidad
		Perforadora Peddinghaus PCD 1100	Importante	M. Programado	Alta disponibilidad	M. sistemático
		Sierra de cinta Birlik ALF 460	Importante	M. Programado	Disponibilidad media	M. condicional

Fuente: SEDEMI.

Elaborado por: El investigador.

Análisis de resultado modelo de mantenimiento de equipos

La Tabla 13, muestra el resultado del modelo de mantenimiento asignado a los equipos críticos del área de abastecimiento.

Tabla 13. Selección de modelo de mantenimiento.

EQUIPO	ANÁLISIS	MODELO		
Mesa de corte Koike 310	Critico	Programado	Disp. > 90	Alta disponibilidad
Procesadora de placas Kf 2512	Critico	Programado	Disp. > 90	Alta disponibilidad
Mesa de corte Tecoi 4500	Critico	Programado	Disp. > 90	Alta disponibilidad

Fuente: SEDEMI.

Elaborado por: El investigador.

Modelo de alta disponibilidad. - Estos equipos funcionan la mayor parte del tiempo, debido a que procesan la materia prima acorde a los diseños del departamento de ingeniería para sus diferentes proyectos, luego de ser procesado, el material se distribuye en sus diferentes áreas para los demás subprocesos, toda la materia prima es transformada en los equipos considerados como críticos en el área.

Este modelo, como se observa, es el más caro y completo, y es el único que no incluye la reparación de averías, porque se parte de la base de que estas averías no pueden surgir. En la práctica, estas averías ocurren, ya que es imposible controlar todos los aspectos. Pero se debe fijar como un objetivo, aunque no se consiga plenamente. (Garrido, 2003, pág. 28).

Cálculo de indicadores de gestión de mantenimiento

Como se menciona en el capítulo uno, los indicadores son medidas cuantitativas que muestran el comportamiento y desempeño de un proceso. Para la presente investigación se toma la clase de indicadores de disponibilidad que son parte de los indicadores de clase mundial y se calculan. Se procede a recolectar los datos ingresados en el registro digital del área de mantenimiento de la empresa SEDEMI, a partir de la revisión del formato físico FORMAN 02 SOLICITUD DE MANTENIMIENTO, para tomar el tiempo de paros en los equipos críticos

establecidos anteriormente. A continuación, en la Tabla 14. Tiempo de para por máquina crítica Koike 310, Tabla 15. Tiempo de para por máquina crítica KF 2512, Tabla 16. Tiempo de para por máquina crítica Tecoi 4500, se muestra los datos de tiempo de reparación por cada máquina crítica.

Tabla 14. Tiempo de para por máquina crítica Koike 310.

Fecha ingreso	Máquina	Tipo de falla	Fecha fin	TTR (hora)	TBF (hora)
9/3/2018 9:00 AM	Koike 310	Mecánico	9/3/2018 11:00 AM	2	809
14/4/2018 8:00 AM	Koike 310	Eléctrico	16/4/2018 12:00 PM	36	434
10/6/2018 8:00 AM	Koike 310	Plasma	11/6/2018 1:30 PM	21,5	668
21/7/2018 10:30 AM	Koike 310	Mecánico	21/7/2018 11:00 AM	0,5	517
2/10/2018 11:30 PM	Koike 310	Plasma	3/10/2018 2:30 AM	3	896,5
19/10/2018 11:00 AM	Koike 310	Plasma	19/10/2018 1:30 PM	2,5	212,5
29/10/2018 12:00 PM	Koike 310	Plasma	30/10/2018 2:00 AM	18	110,5
6/1/2019 9:00 AM	Koike 310	Plasma	6/1/2019 3:30 PM	5,5	779
16/1/2019 8:30 AM	Koike 310	Plasma	16/1/2019 11:30 AM	3	130
TTR (Tiempo para restaurar)				ΣTTR	92
TBF (Tiempo entre fallas)				ΣTBF	6193
				Tiempo total programado para producir	6285

Fuente: SEDEMI.

Elaborado por: El investigador.

Tabla 15. Tiempo de para por máquina crítica KF 2512.

Fecha ingreso	Máquina	Tipo de falla	Fecha fin	TTR (hora)	TBF (hora)
8/3/2018 10:30 AM	Kf 2512	Software	8/3/2018 11:30 AM	1	795,5
20/3/2018 9:30 AM	Kf 2512	Software	20/3/2018 10:30 AM	1	141,0
24/4/2018 11:00 AM	Kf 2512	Mecánico	24/4/2018 11:30 AM	0,5	445,5
18/6/2018 8:30 AM	Kf 2512	Eléctrico	18/6/2018 10:30 AM	2	669
10/7/2018 2:30 PM	Kf 2512	Software	10/7/2018 4:00 PM	1,5	284
20/8/2018 10:00 AM	Kf 2512	Mecánico	30/8/2018 9:00 AM	135	490
6/9/2018 9:00 AM	Kf 2512	Plasma	6/9/2018 10:30 AM	1,5	88
21/11/2018 9:30 AM	Kf 2512	Software	21/11/2018 12:30 PM	3	919
13/12/2018 3:30 PM	Kf 2512	Mecánico	13/12/2018 4:00 PM	0,5	282
17/12/2018 8:30 AM	Kf 2512	Plasma	17/12/2018 10:30 AM	2	34,5
1/2/2019 2:00 PM	Kf 2512	Plasma	1/2/2019 4:00 PM	2	561,5
8/3/2019 9:30 AM	Kf 2512	Eléctrico	8/3/2019 11:00 AM	1,5	402,5
25/3/2019 10:00 AM	Kf 2512	Mecánico	26/3/2019 5:00 PM	22	199
1/4/2019 4:00 PM	Kf 2512	Plasma	1/4/2019 4:30 PM	0,5	71
27/5/2019 9:00 AM	Kf 2512	Mecánico	27/5/2019 10:30 AM	1,5	649,5
TTR (Tiempo para restaurar)				ΣTTR	175,5
TBF (Tiempo entre fallas)				ΣTBF	6109,5
				Tiempo total programado para producir	6285

Fuente: SEDEMI.

Elaborado por: El investigador.

Tabla 16. Tiempo de para por máquina crítica Tecoi 4500.

Fecha ingreso	Máquina	Tipo de falla	Fecha fin	TTR (hora)	TBF (hora)
8/3/2018 3:00 PM	Tecoi 4500	Plasma	8/3/2018 4:30 PM	1,5	798
4/5/2018 11:00 PM	Tecoi 4500	Plasma	7/5/2018 3:30 PM	27,5	704,5
12/9/2018 10:00 AM	Tecoi 4500	Mecánico	12/9/2018 2:00 PM	5	1596
13/9/2018 9:30 AM	Tecoi 4500	Mecánico	13/9/2018 12:30 PM	3	10,5
17/4/2019 9:30 AM	Tecoi 4500	Mecánico	17/4/2019 1:00 PM	3,5	2613
3/5/2019 9:00 AM	Tecoi 4500	Plasma	3/5/2019 12:30 PM	3,5	188,0
31/5/2019 9:00 AM	Tecoi 4500	Mecánico	31/5/2019 12:00 PM	3	316,5
TTR (Tiempo para restaurar) TBF (Tiempo entre fallas)		ΣTTR		47	12,0
		ΣTBF			6238
		Tiempo total programado para producir		6285	

Fuente: SEDEMI.

Elaborado por: El investigador.

Tabla 17. Tiempo de para por tipo de falla en equipos críticos.

Tipo de falla	Tiempo para restaurar (h)
Software	6,5
Eléctrico	39,5
Plasma	92
Mecánico	176,5
	314,5

Fuente: SEDEMI.

Elaborado por: El investigador.

Al realizar el conteo de tiempo de para por cada tipo de falla, se observa que las averías en el sistema de plasma son las que se encuentran en segundo lugar, este sistema es el principal en cada máquina de corte térmico, por lo que hay que poner atención en el mismo para asegurar su normal funcionamiento.

Tabla 18. Cantidad de paras por máquina crítica.

	2018												2019					
Máquina	En	Fb	Mr	Ab	My	Jn	Jl	Ag	Sp	Oc	Nv	Dc	En	Fb	Mr	Ab	My	Total
Koike 310	0	0	1	1	0	1	1	0	0	3	0	0	2	0	0	0	0	9
Kf 2512	0	0	2	1	0	1	1	1	1	0	1	2	0	1	2	1	1	15
Tecoi 4500	0	0	1	0	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	1	2	7
Paras																		31

Fuente: SEDEMI.

Elaborado por: El investigador.

Acorde a los 31 datos de mantenimientos correctivos de las maquinarias críticas (Koike 310 – Kf 2512 – Tecoi 4500), muestran 314,5 horas de paras este tiempo es improductivo y se emplea para realizar el mantenimiento correctivo dentro de la línea de producción deteniendo la jornada normal del trabajo. Una vez obtenidos los datos de tiempos de para de la maquinaria se calculan los indicadores antes mencionados.

MTBF - Tiempo medio entre fallas

Para el cálculo de este indicador se toma en cuenta la información de días de trabajo y turnos dispuesta por gerencia de producción de la empresa, en un periodo de 17 meses de los cuales hay datos y en los que se trabajan 2 jornadas cada una de 8 horas de lunes a viernes y los días sábados en una sola jornada de 8 horas excepto en casos especiales, los días domingos y feriados son considerados días de descanso. El tiempo de funcionamiento total de considerando estos puntos es de 6285 horas.

$$\text{MTBF} = \frac{\text{Tiempo total de funcionamiento}}{\text{Número de fallas}}$$

MTBF Koike 310	=	688	falla/horas
MTBF Kf 2512	=	407	falla/horas
MTBF Tecoi 4500	=	891	falla/horas

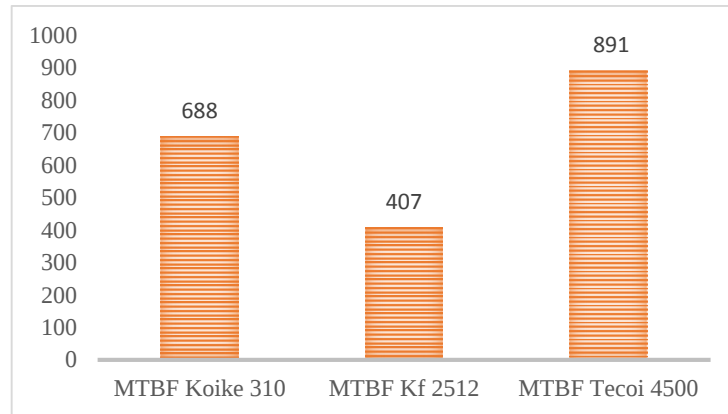


Figura 18. Tiempo promedio entre fallas equipos críticos.

Fuente: SEDEMI.

Elaborado por: El investigador.

Acorde a los cálculos se deduce que mientras el MTBF es mayor los equipos son más confiables, con los resultados se puede ver el siguiente orden de confiabilidad, en la mesa de corte Tecoi 4500, transcurren 891 horas y en la mesa de corte Koike 310, transcurren 688 horas para que se presente una falla, finalmente en la procesadora de placas Kf 2512, transcurren 407 horas para que presenten una falla.

MTTR - Tiempo medio entre paradas

$$\text{MTTR} = \frac{\text{Tiempo total de inactividad por Mtto. correctivo}}{\text{Número de fallos}}$$

MTTR Koike 310	=	10	horas/para
MTTR Kf 2512	=	12	horas/para
MTTR Tecoi 4500	=	7	horas/para

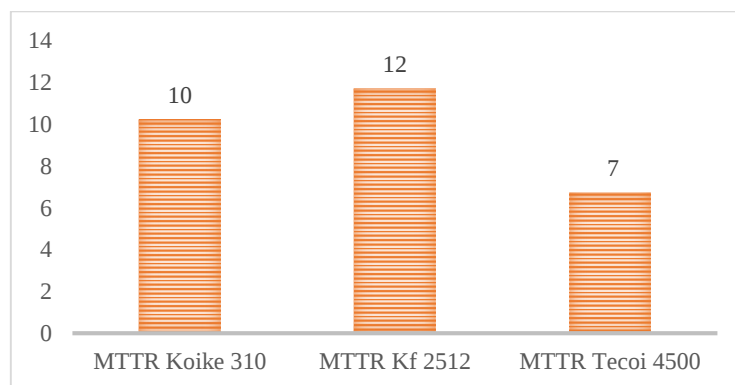


Figura 19. Tiempo promedio entre paradas equipos críticos.

Fuente: SEDEMI.

Elaborado por: El investigador.

Un alto valor de MTTR indica que invierten muchas horas en reparar la máquina debido a alguna deficiencia en la gestión. Un bajo valor de MTTR indica que no se están realizando las labores de mantenimiento como deberían. “Las buenas prácticas de mantenimiento recomiendan que el valor promedio del indicador MTTR se encuentre entre 3 y 6 horas”. (Zegarra, 2016).

Según los cálculos realizados se muestra que en la procesadora de placas Kf 2512, transcurren 12 horas, el tiempo en resolver averías en este equipo es alto debido a que se requiere información y autorización del fabricante de la máquina para agilizar la reparación. En la mesa de corte Koike 310, transcurren 10 horas y en la mesa de corte Tecoi 4500, transcurren 7 horas en reparar una avería, estos equipos se encuentran fuera del rango normal de tiempo de reparación de averías acorde a la información de Zegarra (2016).

Indicador disponibilidad

$$Disponibilidad = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

Disponibilidad Koike 310 = 0,986
Disponibilidad Kf 2512 = 0,971
Disponibilidad Tecoi 4500 = 0,992

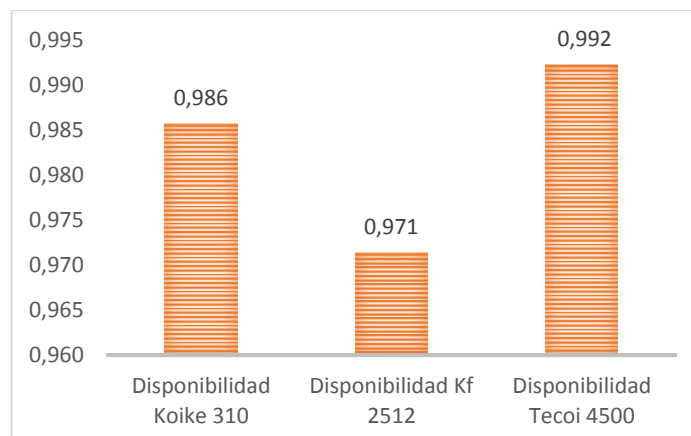


Figura 20. Indicador de Disponibilidad de equipos críticos.

Fuente: SEDEMI.

Elaborado por: El investigador

“La disponibilidad da un valor entre 0 y 1; mientras el resultado sea más cercano al 1 será positivo; se puede mejorar el valor de la disponibilidad mejorando la confiabilidad (aumentando el MTBF)”. (Zambrano, Prieto, & Castillo, 2015).

Acorde a los cálculos realizados se observa que la mesa de corte Koike 310 tiene un valor de 0,986 la procesadora de placas Kf 2512, tiene un valor de 0,971 y la mesa de corte Tecoi 4500, tienen un valor de 0,992 de disponibilidad, están cerca del valor de 1 por lo que su disponibilidad es positiva.

Confiabilidad

$$R(t) = e^{-[t/\alpha]^{\beta}}$$

t	R(t)	%
350	0,65	65,5%
400	0,61	60,7%
450	0,56	56,2%

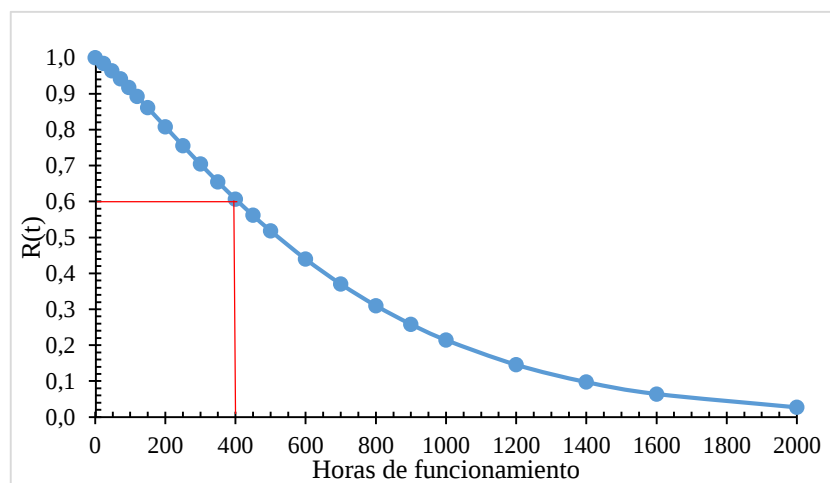


Figura 21. Curva de fiabilidad mesa de corte Koike 310.

Fuente: SEDEMI.

Elaborado por: El investigador.

Para el análisis de la curva de la mesa de corte Koike 310, se toma un punto de referencia de horas de funcionamiento de 400, que se encuentra dentro del tiempo de operación, este valor se aproxima a las horas de funcionamiento en un mes, con una fiabilidad de 60.7%. Se puede comparar la fiabilidad con los tiempos de producción y ver cuando es necesario parar el equipo para evitar averías.

t	R(t)	%
350	0,42	42,3%
400	0,37	36,7%
450	0,32	31,8%

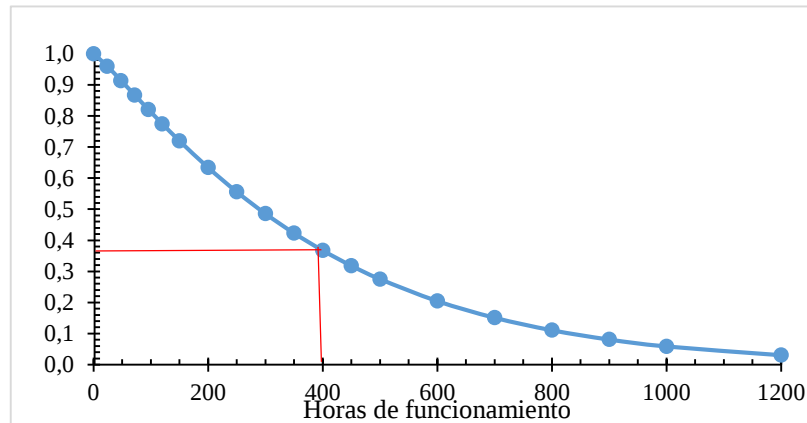


Figura 22. Curva de fiabilidad procesadora de placas Kf 2512.

Fuente: SEDEMI.

Elaborado por: El investigador.

Para el análisis de la curva de la procesadora de placas Kf 2512, se toma un punto de referencia de horas de funcionamiento de 400, que se encuentra dentro del tiempo de operación, este valor se aproxima a las horas de funcionamiento en un mes, con una fiabilidad de 36.7%. Se puede comparar la fiabilidad con los tiempos de producción y ver cuando es necesario parar el equipo para evitar averías.

t	R(t)	%
350	0,50	49,6%
400	0,47	47,2%
450	0,45	45,1%

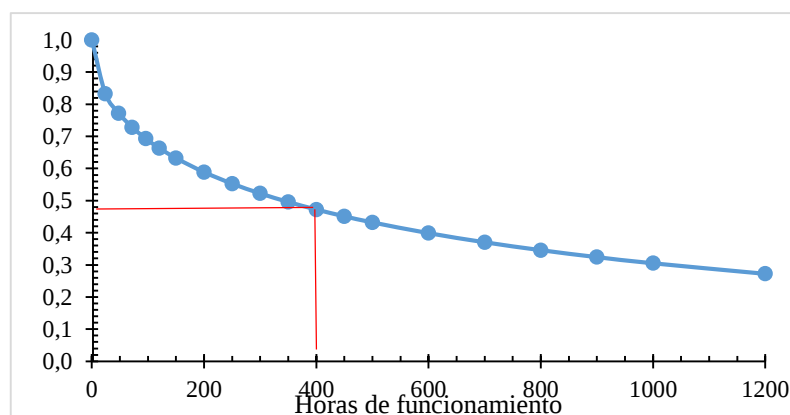


Figura 23. Curva de fiabilidad mesa de corte Tecoi 4500.

Fuente: SEDEMI.

Elaborado por: El investigador.

Para el análisis de la curva de la mesa de corte Tecoi 4500, se toma un punto de referencia de horas de funcionamiento de 400, que se encuentra dentro del tiempo de operación, este valor se aproxima a las horas de funcionamiento en un mes, con una fiabilidad de 47,2%. Se puede comparar la fiabilidad con los tiempos de producción y ver cuando es necesario parar el equipo para evitar averías.

Indicador de cumplimiento

$$IC = \frac{\text{Mantenimiento ejecutado}}{\text{Mantenimiento programado}} * 100\%$$

IC Koike 310	=	90	%
IC Kf 2512	=	87	%
IC Tecoi 4500	=	86	%

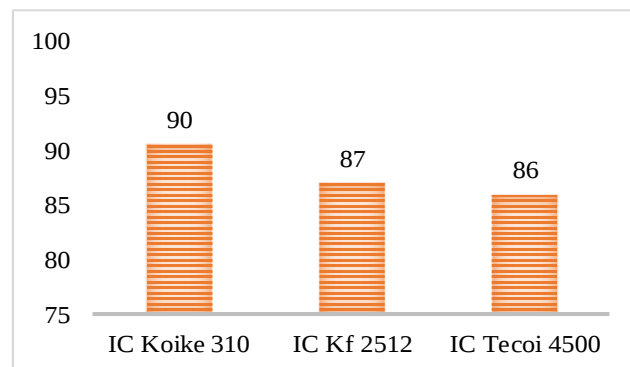


Figura 24. Indicador de Cumplimiento de equipos críticos.

Fuente: SEDEMI.

Elaborado por: El investigador

De los datos obtenidos se observa que, en la mesa de corte Koike 310, el cumplimiento es del 90%, en la procesadora de placas Kf 2512, el cumplimiento es del 87% y en la mesa de corte Tecoi 4500, el cumplimiento es del 86 %. El cumplimiento del mantenimiento programado en estas máquinas se encuentra bordeando el 90%, se están cumpliendo la mayor parte de los mantenimientos programados en los equipos, hay un porcentaje bajo que no se está cumpliendo.

Pasos para la implementación del mantenimiento predictivo

Una vez realizado el análisis donde se detecta las máquinas críticas del proceso, se identifica que existe un sistema en común que usan todas las máquinas críticas, ese sistema es el de plasma de marca hypertherm, con el cual se genera el corte térmico de materia prima en el área de abastecimiento corte térmico, el sistema de plasma es el corazón de estos equipos críticos y el cual hay que asegurar su funcionamiento.

Identificación de elementos y componentes principales del sistema de plasma

Para la identificación de elementos y componentes principales del sistema de plasma se considera la información presente en el manual técnico hypertherm, en la Figura 25, se observa el sistema con sus componentes principales, los cuales se interconectan entre sí para poder funcionar y generar el corte térmico.

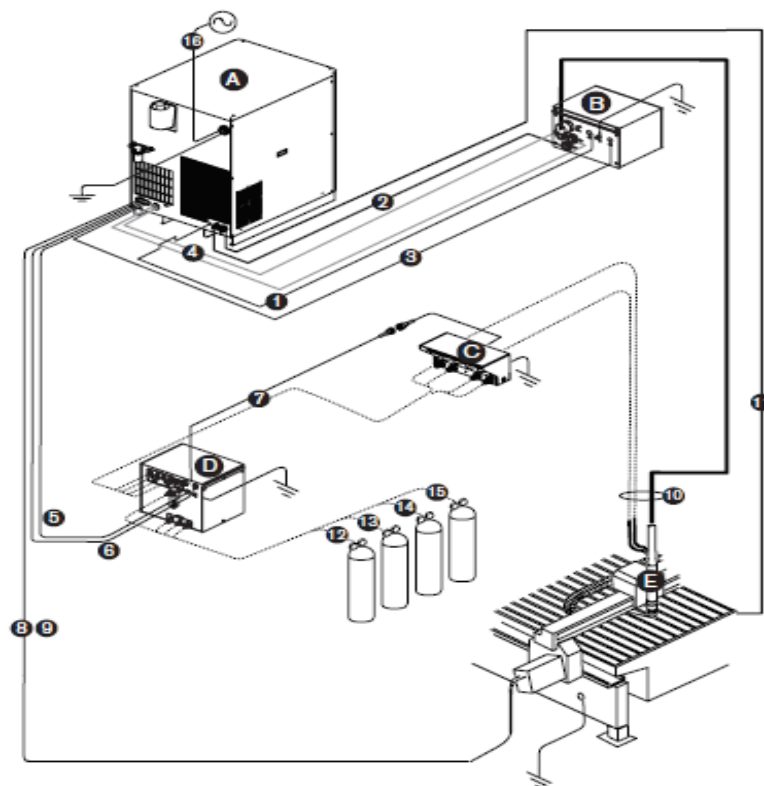


Figura 25. Componentes principales del Sistema de Plasma.

Fuente: SEDEMI.

Elaborado por: El investigador.

Tabla 19. Componentes principales del sistema de plasma.

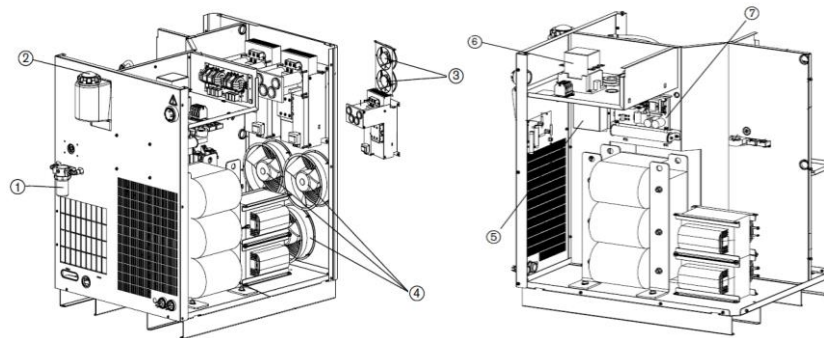
ÍTEM	COMPONENTES DEL SISTEMA	MAQUINA		
A	Fuente de energía 260 - 400 HD	Koike 310	Kf 2512	Tecoi 4500
B	Consola de ignición	Koike 310	Kf 2512	Tecoi 4500
C	Conjunto válvula de cierre	Koike 310	N/A	N/A
D	Consola de dosificación	N/A	N/A	Tecoi 4500
D -E	Consola de gas	Koike 310	Kf 2512	Tecoi 4500
E - F	Antorcha	Koike 310	Kf 2512	Tecoi 4500
1	Cable de arco piloto	Koike 310	Kf 2512	Tecoi 4500
7	Conjunto cable y manguera consola de gas	Koike 310	Kf 2512	Tecoi 4500
10	Conjunto cables y mangueras de antorcha	Koike 310	Kf 2512	Tecoi 4500

Fuente: SEDEMI.

Elaborado por: El investigador.

Una vez detectado el elemento principal del sistema de plasma se desglosa los componentes principales de cada elemento acorde al manual técnico HyPerformance Plasma HPR260XD Manual Gas, el cual es información enviada por parte del proveedor de los equipos de marca hypertherm.

Fuente de energía

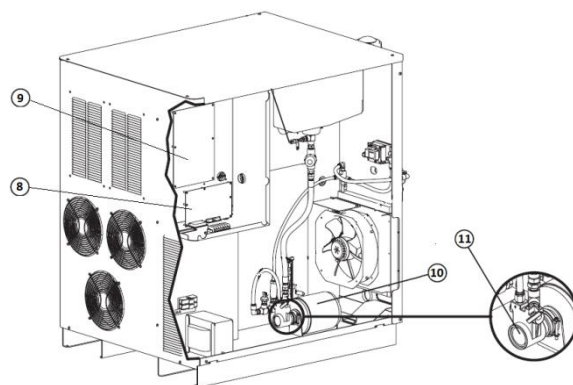


ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	CANT.
1	Elemento filtrante del refrigerante	27664	1
2	Depósito de Solución refrigerante 70/30	28872	4
3	Ventilador de enfriamiento 6 pulg.	127039	4
4	Ventilador de enfriamiento 10 pulg.	27079	3
5	Relé arco piloto	3149	1
6	Contactor principal (380 VCA – 600 VCA)	3233	1
7	Conjunto circuito de arranque PCB1	229238	1

Figura 26. Fuente de energía lado 1A – sistema de plasma.

Fuente: SEDEMI.

Elaborado por: El investigador.



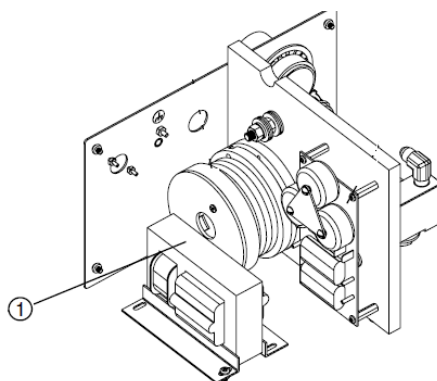
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	CANT.
8	TCI control PCB3	228548	1
9	Panel de distribución de energía PCB2	41802	1
10	Juego del motor bomba de refrigerante	128385	1
11	Juego bomba del refrigerante	228171	1

Figura 27. Fuente de energía 2A – sistema de plasma.

Fuente: SEDEMI.

Elaborado por: El investigador.

Consola de ignición



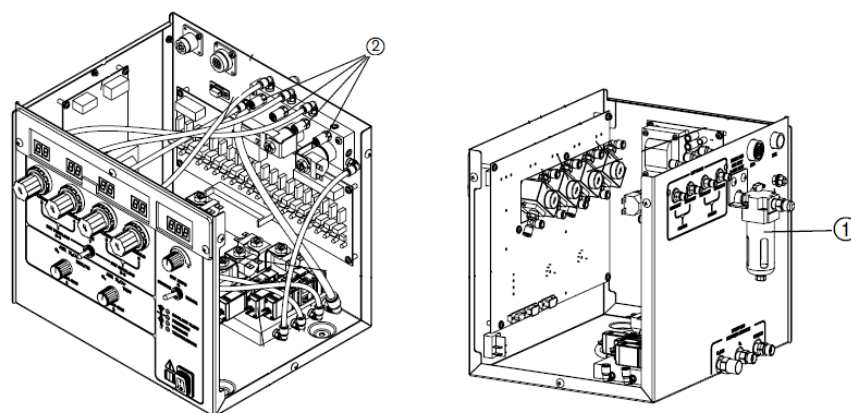
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	CANT.
1	Transformador alto voltaje	129854	1

Figura 28. Consola de ignición – sistema de plasma.

Fuente: SEDEMI.

Elaborado por: El investigador.

Consola de gas



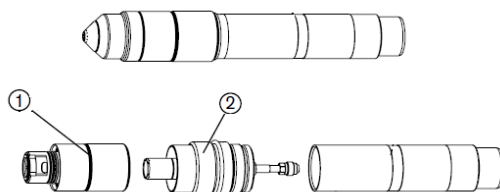
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	CANT.
1	Elemento filtrante de aire	11110	1
2	Sensor de presión PT1-PT4	5263	4

Figura 29. Consola de gas – sistema de plasma.

Fuente: SEDEMI.

Elaborado por: El investigador.

Antorcha



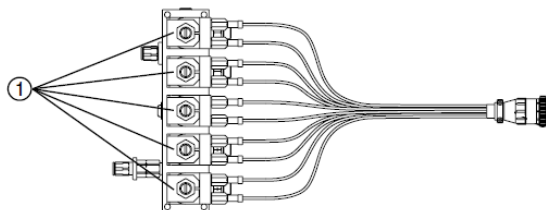
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	CANT.
1	Cuerpo principal de antorcha	220706	1
2	Receptáculo de desconexión rápida	220705	1
10P	Cables y mangueras de la antorcha	228297	1

Figura 30. Antorcha – sistema de plasma.

Fuente: SEDEMI.

Elaborado por: El investigador.

Conjunto válvula de cierre (Koike 310)



ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	CANT.
1	Conjunto válvula de cierre	78534	1

Figura 31. Conjunto de válvula de cierre – sistema de plasma.

Fuente: SEDEMI.

Elaborado por: El investigador.

Consola de dosificación (Tecoi 4500)

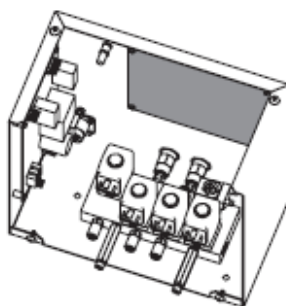


Figura 32. Consola de dosificación – sistema de plasma.

Fuente: SEDEMI.

Elaborado por: El investigador.

Definición de parámetros y técnicas a usar en el sistema de plasma.

En la Tabla 20, se desglosa cada elemento y componente perteneciente al sistema de plasma acorde a la información técnica obtenida del manual HyPerformance Plasma HPR260XD Manual Gas y se aplica la teoría de parámetros para control de estado, expuesta en el capítulo uno Tabla 1, para realizar el cuadro con su parámetro indicador, técnica y equipo.

Tabla 20. Parámetro y técnicas a usar – sistema de plasma.

Sistema	Elemento	Componente	Parámetro indicador	Técnica	Equipo
Sistema de plasma	Fuente de energía	Elemento filtrante del refrigerante	Inspección visual	Visual	Dinámico
		Solución refrigerante 70/30	Inspección visual	Visual	Dinámico
		Ventilador de enfriamiento 6 pulg.	Calentamiento	Termografía	Electrónico
		Ventilador de enfriamiento 10 pulg.	Calentamiento	Termografía	Electrónico
		Relé arco piloto	Calentamiento	Termografía	Electrónico
		Contactador principal (380 – 600 VCA)	Calentamiento	Termografía	Electrónico
		Conjunto circuito de arranque PCB1	Calentamiento	Termografía	Electrónico
		TCI control PCB3	Calentamiento	Termografía	Electrónico
		Panel de distribución de energía PCB2	Calentamiento	Termografía	Electrónico
		Juego bomba del refrigerante	Calentamiento	Termografía	Electrónico
		Juego del motor de refrigerante	Calentamiento	Termografía	Electrónico
		Cable de arco piloto	Calentamiento	Termografía	Electrónico
	Consola de ignición	Transformador alto voltaje	Calentamiento	Termografía	Electrónico
	Consola de gas	Elemento filtrante de aire	Inspección visual	Visual	Dinámico
		Sensor de presión PT1-PT4	Calentamiento	Termografía	Dinámico
		Conjunto cables y mangueras de gas	Calentamiento	Termografía	Electrónico
	Antorcha	Cuerpo principal de antorcha	Calentamiento	Termografía	Electrónico
		Receptáculo de desconexión rápida	Calentamiento	Termografía	Electrónico
		Cables y mangueras de la antorcha	Calentamiento	Termografía	Electrónico
	Conjunto válvula de cierre	Conjunto de válvula de cierre	Calentamiento	Termografía	Electrónico
	Consola de dosificación	Sensor de presión PT4-PT6	Calentamiento	Termografía	Dinámico

Fuente: SEDEMI.

Elaborado por: El investigador.

Clasificación de fallos en el sistema de plasma

Fallo funcional

Impide al equipo o sistema cumplir su función, para el que fue diseñado.

Fallo técnico

No impide el funcionamiento del equipo o sistema, pero si presenta un funcionamiento anormal que se puede notar. Las fuentes de información son:

- Histórico de averías
- Personal de mantenimiento y producción
- Documentación del equipo

Clasificación de los fallos

Fallo a evitar. - Este fallo se da cuando sus consecuencias son inadmisibles, corregir este tipo de fallos es costoso por tal motivo estos fallos deben ser evitados en equipos con modelos de Mantenimiento de Alta Disponibilidad.

Fallo a amortiguar. - Busca formas de amortiguar los efectos de un fallo para que sean mínimos, mientras siga funcionando el equipo.

En la Tabla 21, se detallan los modos de fallo encontrados en el sistema de plasma del área abastecimiento corte térmico. En la primera columna se detalla el sistema analizado, la segunda columna detalla el elemento del sistema, la tercera columna lleva los componentes de cada elemento, la cuarta columna clasifica el tipo de fallo, que puede ser funcional o técnico. En la quinta columna se detallan los fallos que pueden presentarse, en la sexta están los modos de fallo, en la última columna se indican la clasificación de actuación ante el fallo que sería a evitar o amortiguar.

Tabla 21. Clasificación de fallos del sistema de plasma.

Sistema	Elemento	Componente	Tipo de fallo	Descripción del fallo	Descripción de modo de fallo	Clasificación
Sistema de plasma	Fuente de energía	Elemento filtrante del refrigerante	Técnico	No filtra refrigerante	Filtro saturado	A amortiguar
		Solución refrigerante 70/30	Técnico	No hay refrigerante	Bajo nivel de solución	A amortiguar
		Ventilador de enfriamiento 6 pulg.	Técnico	Ventilador no enfría	Ventilador recalentado	A amortiguar
		Ventilador de enfriamiento 10 pulg.	Técnico	Ventilador no enfría	Ventilador recalentado	A amortiguar
		Relé arco piloto	Funcional	No genera arco piloto	Contactos desgastados	A evitar
		Contactor principal (380 – 600 VCA)	Funcional	No hay paso de energía	Contactos desgastados	A evitar
					Bobina quemada	A evitar
		Conjunto circuito de arranque PCB1	Funcional	No hay señal de circuitos	Falla de elementos electrónicos	A evitar
					Falla en cables conectores	A evitar
		TCI control PCB3	Funcional	No hay señal de control	Falla en elementos electrónicos	A evitar
					Falla en cables conectores	A evitar
		Panel de distribución de energía PCB2	Funcional	No hay paso de energía	Falla en elementos electrónicos	A evitar
					Fusibles quemados	A evitar
		Juego bomba del refrigerante	Funcional	No hay refrigerante	Fuga en bomba	A evitar
					No hay presión de bombeo	A evitar
		Juego del motor de refrigerante	Funcional	No hay refrigerante	Motor quemado	A evitar
					Disparo de protección térmica de motor	A evitar
		Cable de arco piloto	Funcional	No hay arco piloto	Cable roto	A evitar

Tabla 21. Continuación

Sistema	Elemento	Componente	Tipo de fallo	Descripción del fallo	Descripción de modo de fallo	Clasificación
Sistema de plasma	Consola de ignición	Transformador alto voltaje	Funcional	No se transforma el voltaje	Transformador quemado	A evitar
	Consola de gas	Elemento filtrante de aire	Técnico	No filtra aire	Filtro saturado	A amortiguar
		Sensor de presión PT1-PT4	Técnico	No censa presión	Sensor obstruido	A evitar
		Conjunto cables y mangueras de gas	Funcional	Fuga en mangueras	Manguera fisurada	A evitar
				Falla de señal	Falla en cables conectores	A evitar
	Antorcha	Cuerpo principal de antorcha	Funcional	No genera arco en antorcha	Cuerpo corto circuito	A evitar
		Receptáculo de desconexión rápida	Funcional	No hay paso de refrigerante	Conductos obstruidos	A evitar
		Cables y mangueras de la antorcha	Funcional	Fuga en mangueras	Manguera fisurada	A evitar
				Falla de señal	Falla en cables conectores	A evitar
	Conjunto válvula de cierre	Conjunto de válvula de cierre	Funcional	Válvula no está cerrando	Bobina de calcula quemada	A evitar
					Falla en cables conectores	A evitar
	Consola de dosificación	Sensor de presión PT4-PT6	Técnico	No censa presión	Sensor obstruido	A evitar

Fuente: SEDEMI.

Elaborado por: El investigador.

La información obtenida en la tabla muestra las partes que presentan un fallo funcional, según la teoría expuesta anteriormente, este tipo de fallos son los que imposibilitan el funcionamiento del equipo y son los que se debe evitar que sucedan, de esta tabla más adelante se realizara una clasificación de partes con fallos funcionales en las cuales la aplicación del mantenimiento predictivo es importante para asegurar el funcionamiento del sistema y equipo del cual forma parte, también indicara el tipo de técnica predictiva más adecuada para aplicar en el plan de mantenimiento predictivo.

Determinación de medidas preventivas en el sistema de plasma

Una vez que se determina los modos de fallo de componentes del sistema de plasma, el siguiente paso es determinar las medidas preventivas que permitirán, evitar el fallo o minimizar sus efectos. Las medidas preventivas que se pueden tomar son de cuatro tipos:

1.- Tareas de mantenimiento. - Son los trabajos que se realizan para evitar el fallo o minimizar sus efectos, las tareas de mantenimiento pueden ser:

Tipo 1: Inspección visual. Son de bajo costo.

Tipo 2: Lubricación. Son de bajo costo.

Tipo 3: Verificación del correcto funcionamiento realizado con instrumentos propios del equipo (verificaciones on-line). Consiste en la toma de datos de funcionamiento utilizando los medios de los que dispone el equipo, como visores, manómetros, alarmas, etc.

Tipo 4: Verificación del correcto funcionamiento realizado con instrumentos externos del equipo. Con esta verificación se pretende, determinar si el equipo cumple con las especificaciones prefijadas por el fabricante de la máquina y que se pueden realizar con:

- *Instrumentos sencillos*, como pinzas a perimétricas, termómetros, tacómetros, etc.
- *Instrumentos complejos*, como analizadores de vibraciones, ultrasonido, termografías, etc.

Tipo 5: Limpieza técnica condicional, dependiendo del estado del equipo.

Tipo 6: Ajuste condicional, si el equipo presenta síntomas de desajuste.

Tipo 7: Limpieza técnica sistemática, realizada por horas de trabajo.

Tipo 8: Ajuste sistemático, sin considerar síntomas de desajuste en el equipo.

Tipo 9: Sustitución sistemática de piezas, por horas de servicio o por fecha.

Tipo 10: Grandes revisiones, sustitución de las piezas sometidas a desgaste.

En la Tabla 22, se muestran las tareas de mantenimiento que se pueden aplicar acorde al modelo de mantenimiento aplicado.

Tabla 22. Tareas de mantenimiento por modelo de mantenimiento.

Tipos de tareas de mantenimiento	Modelos de mantenimiento a los que se puede aplicar ese tipo de tarea			
	Correctivo	Condicional	Sistemático	Alta Dispon.
1. Inspecciones visuales	Correctivo	Condicional	Sistemático	Alta Dispon.
2. Tareas de lubricación	Correctivo	Condicional	Sistemático	Alta Dispon.
3. Verificaciones <i>on-line</i>	Correctivo	Condicional	Sistemático	Alta Dispon.
4. Verificaciones <i>off-line</i> : — Verificaciones sencillas • Mediciones de temperatura • Mediciones de vibración (con vibrómetro) • Mediciones de consumo de corriente • Etc. — Verificaciones con instrumentos complejos • Análisis de vibraciones (con analizador) • Termografías • Detección de fugas por ultrasonidos • Análisis de la curva de arranque de motores • Comprobaciones de alineación por láser • Etc.		Condicional	Sistemático	Alta Dispon.
5. Limpiezas según condición		Condicional	Sistemático	Alta Dispon.
6. Ajustes condicionales		Condicional	Sistemático	Alta Dispon.
7. Limpiezas sistemáticas			Sistemático	Alta Dispon.
8. Ajustes sistemáticos			Sistemático	Alta Dispon.
9. Sustitución sistemática de piezas			Sistemático	Alta Dispon.
10. Grandes revisiones (sustitución de todos los elementos sometidos a desgaste)				Alta Dispon.

Fuente: Organización y gestión integral del mantenimiento, 2003.

Elaborado por: El investigador.

2.- Mejoras y/o modificaciones de la instalación. - Los fallos pueden prevenirse modificando la instalación, o introduciendo mejoras como:

- Cambios en los materiales manteniendo el diseño.
- Cambios en el diseño de una pieza.
- Instalación de sistemas de detección.
- Cambios en el diseño de una instalación.
- Cambios en las condiciones externas al ítem.

3.- Cambios en los procedimientos de operación. - Un procedimiento a veces no contempla la parte técnica de la maquina sino más bien está enfocada a la parte productiva, por eso es importante ver que el procedimiento incluya la parte productiva y técnica para un mejor control.

4.- Cambios en los procedimientos de mantenimiento. - Algunas averías se producen debido a una mala manipulación de elementos del sistema, por lo que antes de revisar partes especiales se debería contar con un procedimiento o información técnica adecuada y actualizada.

En la Tabla 23, se sugieren las medidas preventivas a adoptar para evitar o minimizar los efectos de cada uno de los modos de fallo del sistema de plasma. En la primera columna se indica el modo de fallo. La segunda columna recoge las tareas de mantenimiento que se han considerado aplicables. En la tercera columna se detallan posibles mejoras que podrían realizarse en la instalación. La cuarta columna detalla las indicaciones que habría que realizar al personal de producción, la quinta columna lleva los procedimientos de mantenimiento aplicables acorde a información y manuales técnicos existentes.

Tabla 23. Medidas preventivas a adoptar en el sistema de plasma.

Modo de fallo	Medidas preventivas			
	Tareas de mantenimiento	Mejoras	Procedimientos de producción	Procedimiento de mantenimiento
Elementó de filtro refrigerante saturado	Verificar visualmente que el filtro este en buenas condiciones			Revisar procedimiento filtro del sistema del refrigerante HPR260XD Manual Gas - Pág. 5-35
	Reemplazar el filtro			
Solución refrigerante en bajo nivel	Revisión de depósito de refrigerante		Aumentar la revisión de refrigerante rutina de arranque	Revisar procedimiento llenar la fuente de energía con refrigerante HPR260XD Manual Gas - Pág. 4-44
	Cambio de refrigerante			
Recalentamiento de ventilador de enfriamiento 6 y 10 pulg.	Desmontar y realizar limpieza de bobina		Comprobar el correcto funcionamiento al arrancar	
	Cambio de ventilador			
Desgaste de contactos de relé de arco piloto	Inspeccionar que los contactos del relé no tengan demasiadas picaduras			Revisar procedimiento prueba cables y mangueras de antorcha, punto 4, 5, 6, HPR260XD Manual Gas - Pág. 5-56
	Cambio de relé de arco piloto			
Desgaste de contactor principal (380 - 600 VCA)	Medir alimentación			Revisar procedimiento medición alimentación HPR260XD Manual Gas - Pág. 5-32
	Revisar estado de bobina			
	Inspeccionar que los contactos no tengan demasiadas picaduras			Revisar procedimiento prueba de detección pérdida de fase HPR260XD Manual Gas, punto 1 y 2, Pág. 5-55
	Cambio de contactor			

Tabla 23. Continuación

Modo de fallo	Medidas preventivas			
	Tareas de mantenimiento	Mejoras	Procedimientos de producción	Procedimiento de mantenimiento
Falla de conjunto circuito de arranque PCB1	Limpieza, revisión de elementos internos y cables		Comprobar el correcto funcionamiento al arrancar	Revisar procedimiento localización de problemas circuito de arranque HPR260XD Manual Gas, Pág. 5-48
	Cambio de circuito de arranque PCB1			
Falla de conjunto circuito de arranque PCB3	Limpieza, revisión de elementos internos y cables			Revisar procedimiento prueba de detección pérdida de fase HPR260XD Manual Gas, punto 4a y b, Pág. 5-55
	Cambio de circuito de arranque PCB3			
Falla panel de distribución de energía PCB2	Limpieza, revisión de elementos internos y cables			Revisar procedimiento prueba de detección pérdida de fase HPR260XD Manual Gas, punto 3, 4 y 4c, Pág. 5-55
	Cambio de circuito de arranque PCB3			
Falla de juego de bomba refrigerante	Revisar visualmente presencia de fugas			Revisar procedimiento prueba del cubo de la bomba HPR260XD Manual Gas Pág. 5-41
	Cambio de bomba			
Falla de juego de motor de refrigerante	Limpieza de motor externa e interna			Revisar localización de problemas en la bomba y el motor HPR260XD Manual Gas Pág. 5-42
	Cambio de bomba			
Falla de cable de arco piloto	Medir continuidad entre puntas			
	Cambio de cable de arco piloto			

Tabla 23. Continuación

Modo de fallo	Medidas preventivas			
	Tareas de mantenimiento	Mejoras	Procedimientos de producción	Procedimiento de mantenimiento
Transformador de alto voltaje quemado	Medir entradas y salidas de voltaje		Comprobar el correcto funcionamiento al arrancar	
	Comprobar sobrecalentamiento transformador			
	Cambio de transformador de alto voltaje			
Elementó de filtro refrigerante saturado	Verificar visualmente que el filtro este en buenas condiciones		Purgar filtro antes de arrancar la maquina	Revisar procedimiento reemplazar elemento filtrante de aire HPR260XD Manual Gas Pág. 5-33
	Reemplazar el filtro			
No censa el sensor de presión PT1-PT4	Cambiar sensor		Comprobar el correcto funcionamiento al arrancar	
Fuga y falla en conjunto cables y mangueras de gas	Medir continuidad en cables		Purgar todo el sistema antes de arrancar el funcionamiento	
	Verificar fugas en mangueras			
	Cambio de cables y mangueras de gas			
Cuerpo principal de antorcha circuitado	Revisar componentes internos y limpiar			Revisar procedimiento mantenimiento del dispositivo de desconexión rápida HPR260XD Manual Gas Pág. 4-13
	Cambiar cuerpo principal de antorcha			
Obstrucción de receptáculo de desconexión rápida	Revisar componentes internos y limpiar			Revisar información conexiones de la antorcha HPR260XD Manual Gas Pág. 4-14
	Cambiar receptáculo de desconexión rápida			

Tabla 23. Continuación

Modo de fallo	Medidas preventivas			
	Tareas de mantenimiento	Mejoras	Procedimientos de producción	Procedimiento de mantenimiento
Fuga y falla en conjunto cables y mangueras de gas	Medir continuidad en cables			Revisar procedimiento conectar la antorcha al conjunto de cables y mangueras HPR260XD Manual Gas Pág. 3-37 al 40
	Verificar fugas en mangueras			
	Cambio cables y mangueras de gas			
Falla en conjunto válvula de cierre	Medir continuidad en cables		Comprobar el correcto funcionamiento al arrancar	Revisar información instalar la válvula de cierre HPR260XD Manual Gas Pág. 3-14
	Medir continuidad en bobina			
	Cambio de conjunto válvula de cierre			
No censa el sensor de presión PT1-PT5	Cambiar sensor			
	Cambiar consola de dosificación			

Fuente: SEDEMI.

Elaborado por: El investigador.

Resultados esperados

Aplicación de la estrategia predictiva

Como menciona (Ballesteros Robles, 2011), “las filosofías predictivas se aplican en la maquinaria crítica”, y por ende en los componentes principales del sistema de plasma ya que tienen un gran impacto si llegaran a fallar por lo que es importante reducir su posibilidad de fallo, por lo que el tipo de mantenimiento adecuado para estos componentes que forman parte de un equipo crítico es el predictivo.

El mantenimiento predictivo consta de una serie de ensayos de carácter no destructivos orientados a realizar un seguimiento del funcionamiento de los equipos para detectar signos de advertencia que indiquen que alguna de sus partes no está trabajando de la manera correcta. A través de este tipo de mantenimiento, una vez detectadas las averías, se puede, de manera oportuna, programar las correspondientes reparaciones sin que se afecte el proceso de producción y prolongando con esto la vida útil de las máquinas. (Evonny, 2017)

Un punto importante para poder aplicar esta técnica es que la avería genere señales como temperatura, ruido, vibración, etc., para que puedan ser tomadas por herramientas estadísticas que permitirán generar un seguimiento y poder decidir cuándo se debe realizar el cambio. De la Tabla 21. Clasificación de fallos del sistema de plasma, se escogen los componentes con fallo funcional del sistema de plasma, los cuales se deben evitar ya que su falla representa una para inevitable del equipo. A continuación, en la Tabla 24 se muestra los elementos y componentes principales del sistema de plasma que fueron identificados con fallos funcionales, donde se localiza el tipo de magnitud presente.

Tabla 24. Magnitud presente en partes con fallo funcional.

Sistema	Elemento	Componente	Magnitud
Sistema de Plasma	Fuente de energía	Relé arco piloto	Temperatura
	Fuente de energía	Contactador principal (380 – 600 VCA)	Temperatura
	Fuente de energía	Juego bomba del refrigerante	Temperatura
	Fuente de energía	Juego del motor de refrigerante	Temperatura
	Fuente de energía	Cable de arco piloto	Temperatura
	Consola de ignición	Transformador alto voltaje	Temperatura
	Consola de gas	Conjunto cables y mangueras de gas	Temperatura
	Antorcha	Cuerpo principal de antorcha	Temperatura
	Antorcha	Receptáculo de desconexión rápida	Temperatura
	Antorcha	Cables y mangueras de la antorcha	Temperatura
	Conjunto válvula de cierre	Conjunto válvula de cierre	Temperatura

Fuente: SEDEMI.

Elaborado por: El investigador.

El resultado de la Tabla 24, muestra que en todos los componentes del sistema de plasma la magnitud que domina es la temperatura, lo cual facilita la aplicación de una sola técnica predictiva para estos componentes, en este caso se aplica la técnica de predictiva de termografía.

Plan de mantenimiento predictivo del sistema de plasma

Para iniciar el diseño del plan de mantenimiento predictivo, se realiza una recopilación de datos de los principales puntos que se han obtenido, para poder partir de una base de los periodos de revisión, se toma la información obtenida en el manual HPR260XD Manual Gas, del periodo de cambio de los componentes principales del sistema de plasma, que son sugeridos por el proveedor del equipo, toda esta información se puede observar en la Tabla 25. Tabla resumen sistema de plasma.

Tabla 25. Tabla resumen sistema de plasma.

Sistema	Elemento	Componente	Fallo	Magnitud	Técnica	Periodo de cambio
Sistema de Plasma	Fuente de energía	Relé arco piloto	Funcional	Temperatura	Termografía	1 año o 600 horas arco
	Fuente de energía	Contactador principal (380 – 600 VCA)				1 año o 600 horas arco
	Fuente de energía	Juego bomba del refrigerante				2 años o 1200 horas arco
	Fuente de energía	Juego del motor de refrigerante				4 años o 2400 horas arco
	Fuente de energía	Cable de arco piloto				5 años o 3000 horas arco
	Consola de ignición	Transformador alto voltaje				5 años o 3000 horas arco
	Consola de gas	Conjunto cables y mangueras de gas				5 años o 3000 horas arco
	Antorcha	Cuerpo principal de antorcha				1 año o 600 horas arco
	Antorcha	Receptáculo de desconexión rápida				1 año o 600 horas arco
	Antorcha	Cables y mangueras de la antorcha				2 años o 1200 horas arco
	Conjunto válvula de cierre	Conjunto válvula de cierre				5 años o 3000 horas arco

Fuente: SEDEMI.

Elaborado por: El investigador.

En la tabla resumen se observa las partes principales que presentan un fallo funcional y en la cual su magnitud dominante es la temperatura, esto permite concluir que la mejor técnica predictiva a aplicar es la termografía, ya que los componentes generan temperatura al momento de funcionar en conjunto con el equipo, también se muestra el período de cambio sugerido por el manual técnico que se usará como base para tomar la frecuencia de la aplicación de la técnica predictiva de termografía.

En el plan de mantenimiento predictivo de la Figura 33, se puede observar de una forma detallada los elementos, componentes, actividad a realizarse, tiempo estimado en realizar la actividad, la frecuencia basada en el tiempo acorde a la sugerencia del proveedor, esta es la estructura del plan de mantenimiento predictivo que se va aplicar en el sistema de plasma de los equipos críticos.

	PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO				Código: 0000 Version: 00 Fecha: AA-BB-CCC Página: 1	
	Codigo : CT-MT-02					
	Máquina : Mesa de corte					
	Marca : Tecoi					
	Modelo : Teknos 4500					
	Análisis: Crítico					
Frecuencia de trabajo: 16 Horas/día						

Sistema	Elemento	Componente	Actividad	Tiempo (min)	Frecuencia	Responsable
Sistema de Plasma	Fuente de energía	Relé arco piloto	Tomar lectura con camara termografica	5	3 meses	Proveedor externo
	Fuente de energía	Contactador principal (380 – 600 VCA)	Tomar lectura con camara termografica	5	3 meses	Proveedor externo
	Fuente de energía	Juego bomba del refrigerante	Tomar lectura con camara termografica	5	3 meses	Proveedor externo
	Fuente de energía	Juego del motor de refrigerante	Tomar lectura con camara termografica	5	3 meses	Proveedor externo
	Fuente de energía	Cable de arco piloto	Tomar lectura con camara termografica	5	3 meses	Proveedor externo
	Consola de ignición	Transformador alto voltaje	Tomar lectura con camara termografica	5	3 meses	Proveedor externo
	Consola de gas	Conjunto cables y mangueras de gas	Tomar lectura con camara termografica	5	3 meses	Proveedor externo
	Antorcha	Cuerpo principal de antorcha	Tomar lectura con camara termografica	5	3 meses	Proveedor externo
	Antorcha	Receptáculo de desconexión rápida	Tomar lectura con camara termografica	5	3 meses	Proveedor externo
	Antorcha	Cables y mangueras de la antorcha	Tomar lectura con camara termografica	5	3 meses	Proveedor externo
	Conjunto válvula de cierre	Conjunto válvula de cierre	Tomar lectura con camara termografica	5	3 meses	Proveedor externo

Figura 33. Ejemplo de plan de mantenimiento predictivo sistema de plasma.

Fuente: SEDEMI.

Elaborado por: El investigador

Para la realización del plan de mantenimiento predictivo del sistema de plasma se toma las siguientes consideraciones:

- 1.- Se toma la frecuencia de cambio más corta de las partes con fallo funcional que muestra el manual técnico HyPerformance Plasma HPR260XD Manual Gas que es de 1 año (12 meses) como base de las revisiones.
- 2.- La frecuencia de aplicación de la técnica predictiva se estipula trimestral dentro del año, con esto se logrará obtener una base de información técnica confiable de los componentes con frecuencia de cambio más corto y generando un historial de los que tienen la frecuencia de cambio más alto, esta información servirá de partida para aplicar el plan predictivo sugerir mejoras masa delante.

3.- El servicio de termografía será realizado por un proveedor externo nacional especialista en este tipo de técnicas predictivas, previo una revisión para escoger la mejor propuesta.

Los planes de mantenimiento predictivo de los sistemas de plasma de los equipos críticos del área se pueden observar en el Anexo 7. Plan de mantenimiento predictivo mesa de corte Koike 310, Anexo 8. Plan de mantenimiento predictivo procesadora de placas Kf 2512, Anexo 9. Plan de mantenimiento predictivo mesa de corte Tecoi 4500.

Cronograma de mantenimiento predictivo del sistema de plasma

En este formato lleva información de los componentes del sistema de plasma, así como su frecuencia por tiempo en meses, e indica cuando se debe realizar la termografía, en la Figura 34, se puede observar el cronograma de aplicación de la termografía.

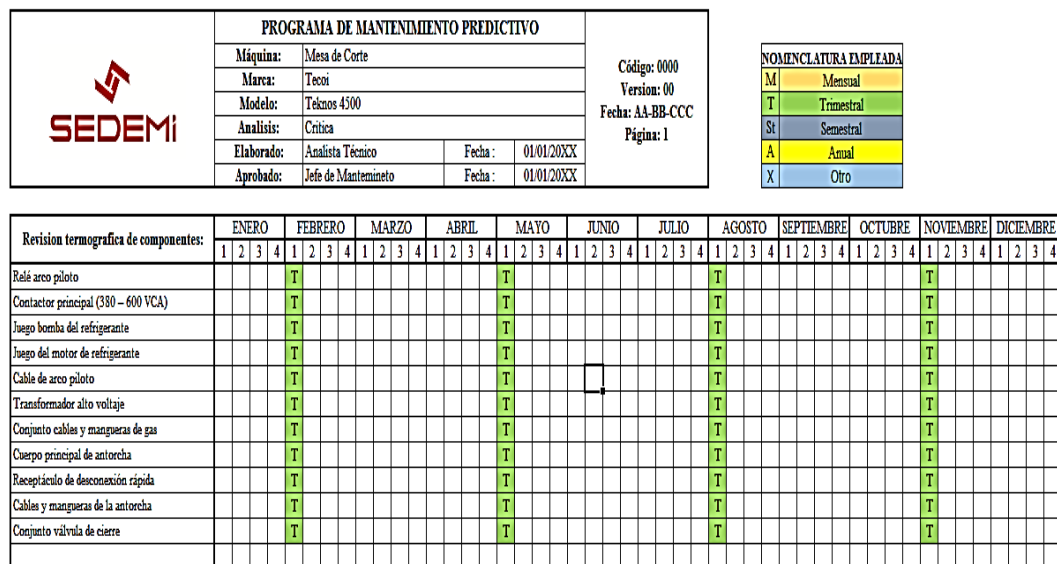


Figura 34. Ejemplo de cronograma de mantenimiento predictivo sistema de plasma.

Fuente: SEDEMI.

Elaborado por: El investigador

Para empezar con el cumplimiento del cronograma se toma las siguientes consideraciones:

1.- Su frecuencia como se indica en el manual es de 12 meses para el cambio de partes, antes de cumplir este tiempo se aplicará una frecuencia trimestral de la técnica predictiva para obtener una base de datos reales y medibles durante un año, que permita seguir la evolución y poder ver con anterioridad el comportamiento del componente, tomando las debidas medidas del caso si fuera necesario su reemplazo.

2.- Para asegurar el cumplimiento del plan y el cronograma predictivo, esta propuesta será presentado como mejora en el departamento de mantenimiento acorde al literal del procedimiento 5.3 Actualización permanente del plan anual de mantenimiento donde se menciona que, “se pretende recopilar no solamente las actividades planificadas al inicio del año, sino también todo lo que se apruebe o implante en el transcurso del mismo en cada una de las áreas, de tal forma que los Planes siempre estén actualizados y completos” (SEDEMI, 2016).

Los cronogramas de mantenimiento predictivo de los sistemas de plasma de los equipos críticos del área se pueden observar en el Anexo 10. Cronograma de mantenimiento predictivo mesa de corte Koike 310, Anexo 11. Cronograma de mantenimiento predictivo procesadora de placas Kf 2512, Anexo 12. Cronograma de mantenimiento predictivo mesa de corte Tecoi 4500.

Análisis de reducción de tiempos de para con aplicación del plan de mantenimiento predictivo

Ballesteros (2011) menciona que “al aplicar la estrategia predictiva se puede extender la vida útil de un activo hasta cinco veces más que si se sigue una estrategia preventiva”, tomando como ejemplo los datos de la Tabla 14. Tiempo de para por máquina crítica Koike 310, Tabla15. Tiempo de para por máquina crítica Kf 2512 y Tabla 16. Tiempo de para por máquina crítica Tecoi 4500, se simula la aplicación de la técnica predictiva, suprimiendo los tiempos de para de la maquina por falla de los componentes identificados como principales en sistema de plasma, para volver a realizar los cálculos correspondientes de los indicadores y ver su comportamiento sin la aplicación y con la aplicación de la técnica predictiva de termografía. A continuación, se genera la siguiente información:

Tabla 26. Simulación de aplicación de termografía sistema de plasma Koike 310.

Nº	Fecha ingreso	Máquina	Tipo de falla	Fecha fin	TTR (hora)	TBF (hora)
1	9/3/2018 9:00 AM	Koike 310	Mecánico	09/03/2018 11:00	2	809
2	14/4/2018 8:00 AM	Koike 310	Eléctrico	16/04/2018 12:00	36	434
3	10/6/2018 8:00 AM	Koike 310	Plasma	11/06/2018 13:30	21,5	668
4	21/7/2018 10:30 AM	Koike 310	Mecánico	21/07/2018 11:00	0,5	517
5	29/10/2018 12:00 PM	Koike 310	Plasma	30/10/2018 2:00	18	1225
6	6/1/2019 9:00 AM	Koike 310	Plasma	06/01/2019 15:30	5,5	779
TTR (Tiempo para restaurar)					ΣTTR	83,5
TBF (Tiempo entre fallas)					ΣTBF	1769,5
					Tiempo total programado	6285

Fuente: SEDEMI.

Elaborado por: El investigador.

Tabla 27. Simulación de aplicación de termografía sistema de plasma Kf 2512.

Nº	Fecha ingreso	Máquina	Tipo de falla	Fecha fin	TTR (hora)	TBF (hora)
1	8/3/2018 10:30 AM	Kf 2512	Software	8/3/2018 11:30 AM	1	795,5
2	20/3/2018 9:30 AM	Kf 2512	Software	20/3/2018 10:30 AM	1	141
3	18/6/2018 8:30 AM	Kf 2512	Eléctrico	18/6/2018 10:30 AM	2	1115
4	10/7/2018 2:30 PM	Kf 2512	Software	10/7/2018 4:00 PM	1,5	284
5	20/8/2018 10:00 AM	Kf 2512	Mecánico	30/8/2018 9:00 AM	135	490
6	21/11/2018 9:30 AM	Kf 2512	Software	21/11/2018 12:30 PM	3	1008,5
7	13/12/2018 3:30 PM	Kf 2512	Mecánico	13/12/2018 4:00 PM	0,5	282
8	1/2/2019 2:00 PM	Kf 2512	Plasma	1/2/2019 4:00 PM	2	598
9	8/3/2019 9:30 AM	Kf 2512	Eléctrico	8/3/2019 11:00 AM	1,5	402,5
10	25/3/2019 10:00 AM	Kf 2512	Mecánico	26/3/2019 5:00 PM	22	199
11	1/4/2019 4:00 PM	Kf 2512	Plasma	1/4/2019 4:30 PM	0,5	71
12	27/5/2019 9:00 AM	Kf 2512	Mecánico	27/5/2019 10:30 AM	1,5	649,5
TTR (Tiempo para restaurar)					ΣTTR	171,5
TBF (Tiempo entre fallas)					ΣTBF	77,5
					Tiempo total programado para producir	6113,5
						6285

Fuente: SEDEMI.

Elaborado por: El investigador.

Tabla 28. Simulación de aplicación de termografía sistema de plasma Tecoi 4500.

Nº	Fecha ingreso	Máquina	Tipo de falla	Fecha fin	TTR (hora)	TBF (hora)
1	12/9/2018 10:00 AM	Tecoi 4500	Mecánico	12/9/2018 2:00 PM	5	3127
2	13/9/2018 9:30 AM	Tecoi 4500	Mecánico	13/9/2018 12:30 PM	3	10,5
3	17/4/2019 9:30 AM	Tecoi 4500	Mecánico	17/4/2019 1:00 PM	3,5	2613
4	3/5/2019 9:00 AM	Tecoi 4500	Plasma	3/5/2019 12:30 PM	3,5	188,0
5	31/5/2019 9:00 AM	Tecoi 4500	Mecánico	31/5/2019 12:00 PM	3	316,5
TTR (Tiempo para restaurar)				ΣTTR	18	12,0
TBF (Tiempo entre fallas)				ΣTBF		6267
Tiempo total programado para producir					6285	

Fuente: SEDEMI.

Elaborado por: El investigador.

Comparación de indicadores con la aplicación de la técnica predictiva

Tabla 29. Resumen fallas en maquinaria

Indicador	Máquina	Sin predictivo	Con predictivo
Fallas en maquinaria	Koike 310	9	6
	Kf 2512	15	12
	Tecoi 4500	7	5

Fuente: SEDEMI.

Elaborado por: El investigador.

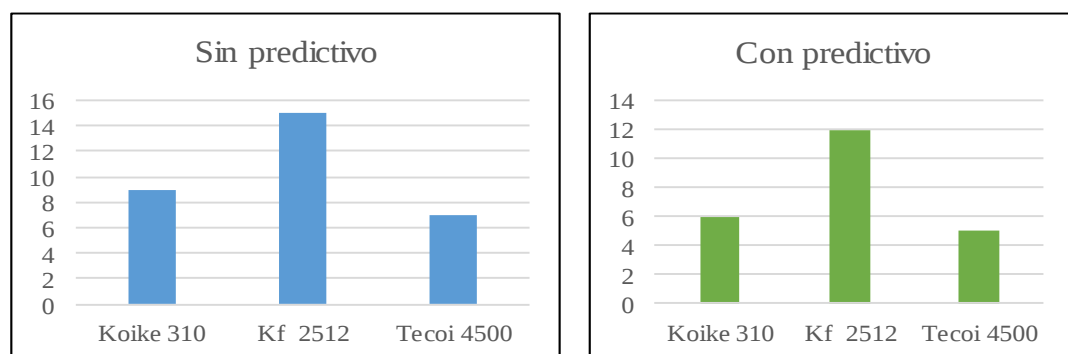


Figura 35. Comparación de fallas en maquinaria sin y con predictivo.

Fuente: SEDEMI

Elaborado por: El investigador.

Tabla 30. Resumen tiempo de reparación

Indicador	Máquina	Sin predictivo	Con predictivo
Tiempo de reparación	Koike 310 (h)	92	83,5
	Kf 2512 (h)	175,5	171,5
	Tecoi 4500 (h)	47	18

Fuente: SEDEMI.

Elaborado por: El investigador.

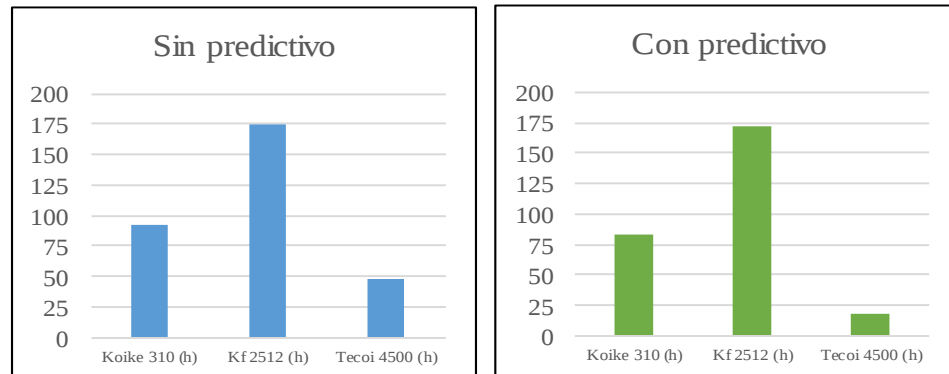


Figura 36. Comparación de tiempo de reparación sin y con predictivo.

Fuente: SEDEMI.

Elaborado por: El investigador.

Tabla 31. Resumen MTBF

Indicador	Máquina	Sin predictivo	Con predictivo
MTBF	Koike 310 (h)	92	1034
	Kf 2512 (h)	175,5	509
	Tecoi 4500 (h)	47	1253

Fuente: SEDEMI.

Elaborado por: El investigador.

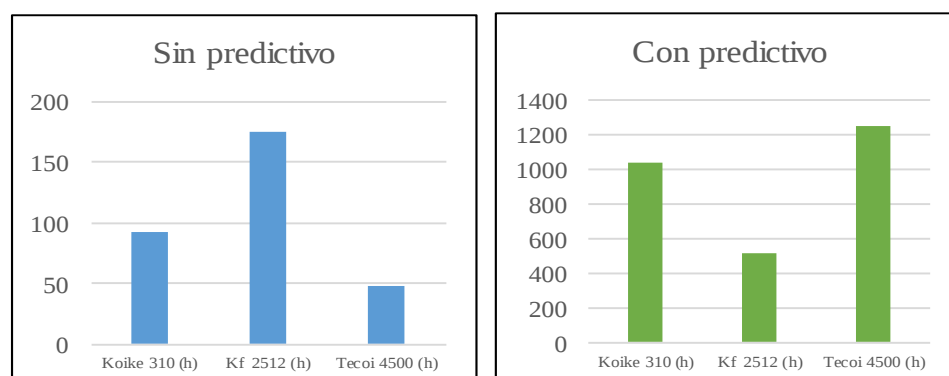


Figura 37. Comparación MTBF sin y con predictivo

Fuente: SEDEMI.

Elaborado por: El investigador.

Tabla 32. Resumen MTTR

Indicador	Máquina	Sin predictivo	Con predictivo
MTTR	Koike 310 (h)	10	14
	Kf 2512 (h)	12	14
	Tecoi 4500 (h)	7	4

Fuente: SEDEMI.

Elaborado por: El investigador.

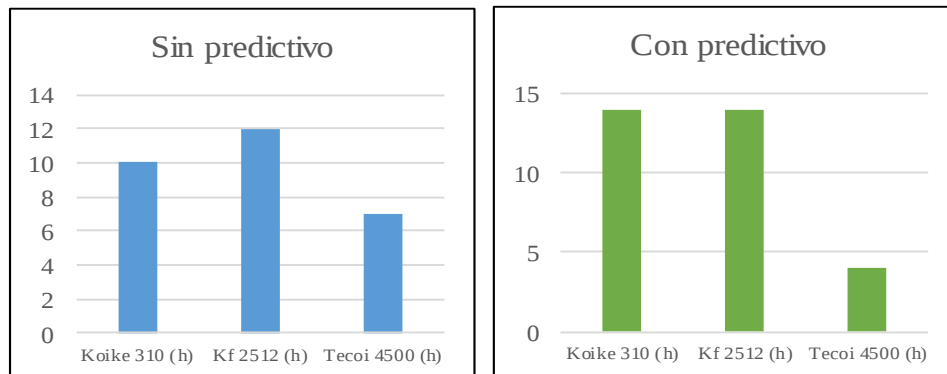


Figura 38. Comparación MTTR sin y con predictivo.

Fuente: SEDEMI.

Elaborado por: El investigador.

Tabla 33. Resumen disponibilidad

Indicador	Máquina	Sin predictivo	Con predictivo
Disponibilidad	Koike 310	0,986	0,987
	Kf 2512	0,971	0,973
	Tecoi 4500	0,992	0,997

Fuente: SEDEMI.

Elaborado por: El investigador.

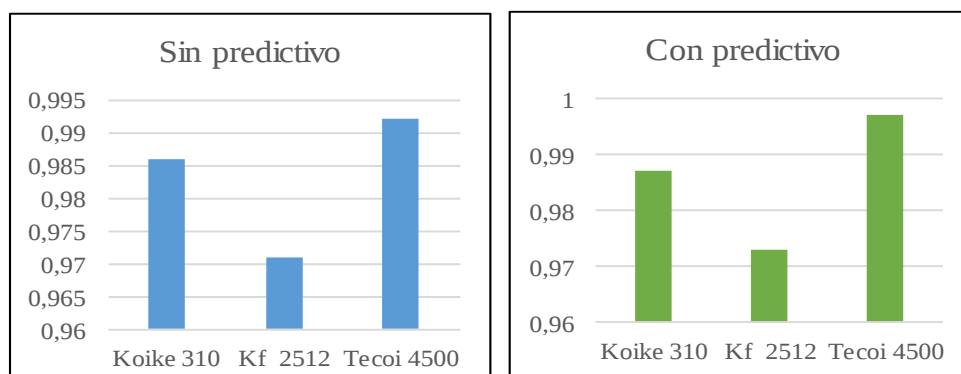


Figura 39. Comparación disponibilidad sin y con predictivo.

Fuente: SEDEMI.

Elaborado por: El investigador.

Tabla 34. Resumen indicador de cumplimiento

Indicador	Máquina	General
Indicador de cumplimiento	Koike 310	90
	Kf 2512	87
	Tecoi 4500	86

Fuente: SEDEMI.

Elaborado por: El investigador.

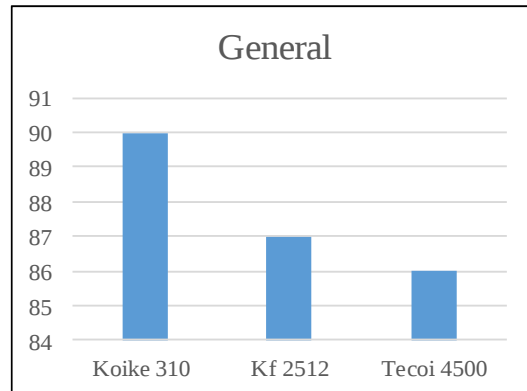


Figura 40. Indicador de cumplimiento.

Fuente: SEDEMI.

Elaborado por: El investigador.

Indicador de confiabilidad

Sin técnica predictiva - mesa de corte Koike 310

t	R(t)	%
400	0,61	60,7%

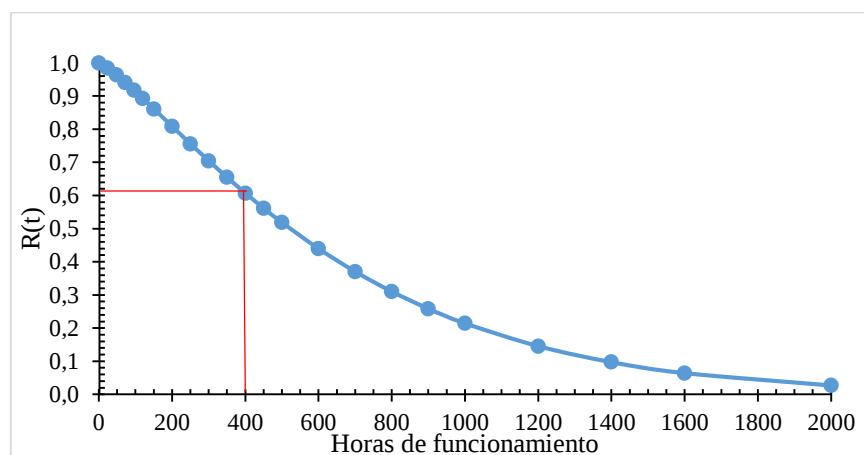


Figura 41. Curva de confiabilidad sin técnica predictiva - mesa de corte Koike 310.

Fuente: SEDEMI.

Elaborado por: El investigador.

Con técnica predictiva - mesa de corte Koike 310

t	R(t)	%
400	0,87	87,0%

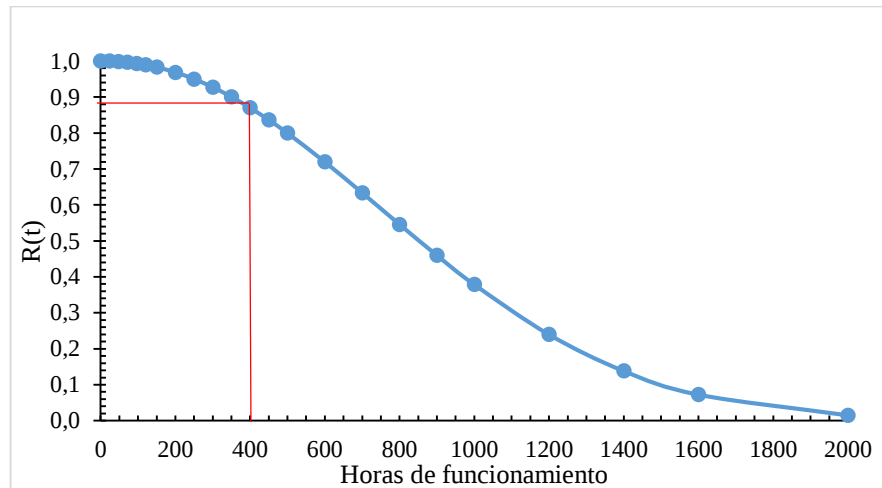


Figura 42. Curva de confiabilidade com técnica predictiva - mesa de corte Koike 310.

Fuente: SEDEMI.

Elaborado por: El investigador.

Sin técnica predictiva procesadora de placas Kf 2512

t	R(t)	%
400	0,37	36,7%

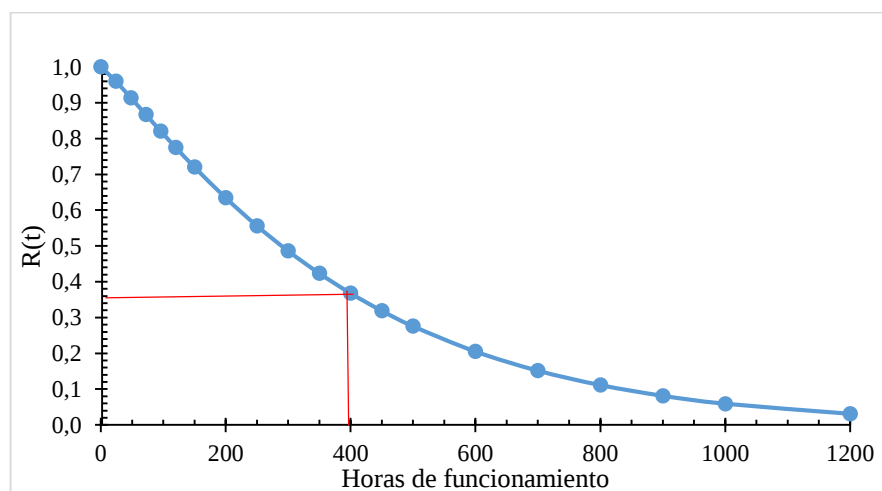


Figura 43. Curva de confiabilidade sin técnica predictiva - procesadora Kf 2512.

Fuente: SEDEMI.

Elaborado por: El investigador.

Con técnica predictiva – procesadora de placas Kf 2512

t	R(t)	%
400	0,49	49,0%

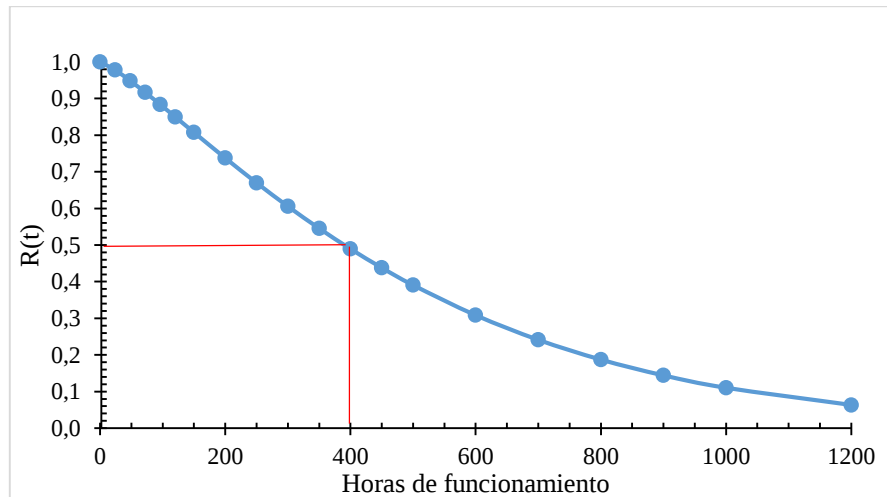


Figura 44. Curva de confiabilidade com técnica predictiva - procesadora Kf 2512.

Fuente: SEDEMI.

Elaborado por: El investigador.

Sin técnica predictiva - mesa de corte Tecoi 4500

t	R(t)	%
400	0,47	47,2%

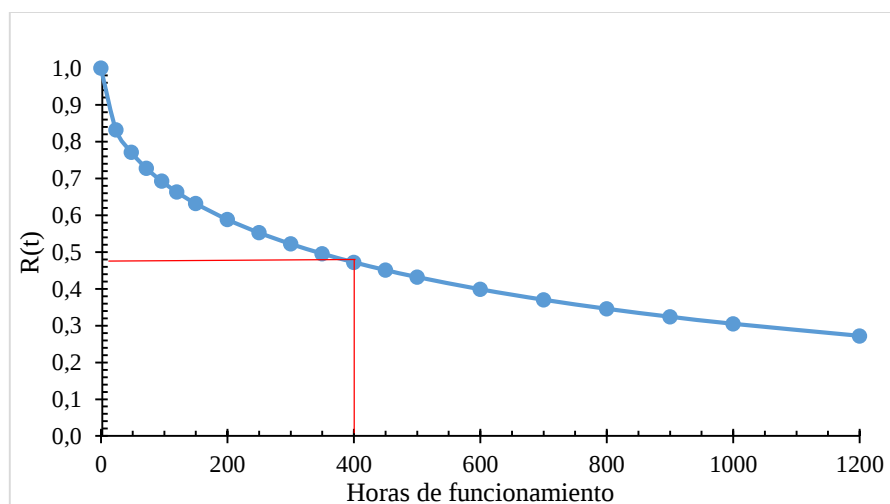


Figura 45. Curva de confiabilidade sin técnica predictiva - mesa de corte Tecoi 4500.

Fuente: SEDEMI.

Elaborado por: El investigador.

Con técnica predictiva mesa de corte Tecoi 4500

t	R(t)	%
400	0,45	44,7%

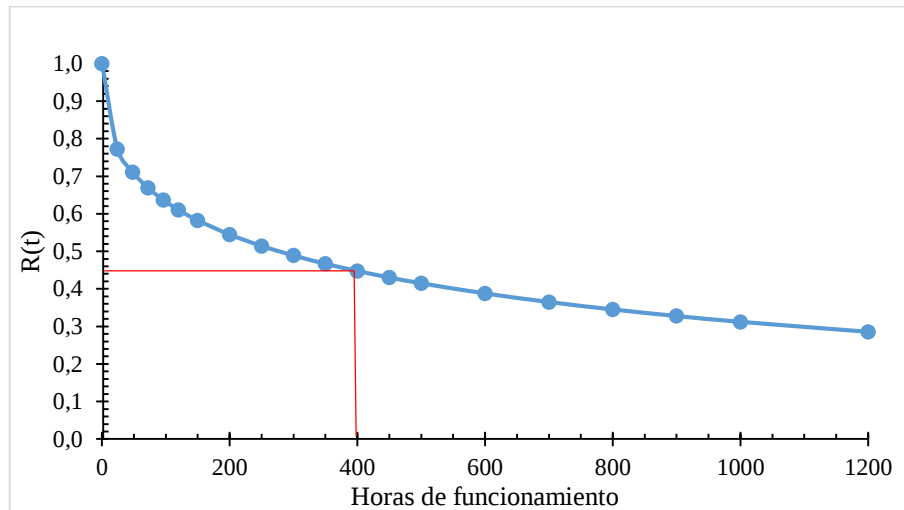


Figura 46. Curva de confiabilidad con técnica predictiva - mesa de corte Tecoi 4500.

Fuente: SEDEMI.

Elaborado por: El investigador.

Análisis de resultados de curvas de confiabilidad

Se puede ver en el cálculo de resultados que al aplicar el mantenimiento predictivo los indicadores mejoran, en el caso de la confiabilidad aumenta al reducir el tiempo de falla y prolonga su tiempo de buen funcionamiento en cada equipo crítico aumentando su confiabilidad. Se observa el aumento de la confiabilidad aplicando el mantenimiento predictivo en la mesa de corte Koike 310 y la procesadora de placas Kf 2512, en la mesa de corte Tecoi 4500 la confiabilidad disminuye debido a que el tiempo de funcionamiento es más prolongado y muestra que se debe aplicar la técnica predictiva en un tiempo de funcionamiento más corto para garantizar su funcionamiento. Todos estos cálculos se realizan siempre y cuando las condiciones del área de producción y de la máquina se mantengan constantes o iguales al inicio de la aplicación del mantenimiento predictivo

Análisis de costo de cambios y subcontratación de termografía de componentes

En el siguiente análisis se muestran los precios de las partes principales, el costo de subcontratar la técnica y si es rentable realizar la misma en los sistemas de plasma de las maquinas critica del área de abastecimiento corte térmico. El sistema de plasma Hypertherm tiene representantes en ecuador, uno de ellos es la empresa Colimpo que provee de este tipo de repuesto, la mayoría son importados al país por lo que generan un valor extra en su compra, en la Tabla 35 se observa los precios cotizados en dólares de cada parte.

Tabla 35. Valor de partes principales Sistema de Plasma.

Elemento	Componente	Periodo cambio	Valor.U
Fuente de energía	Relé arco piloto	1 año	\$ 115,00
Fuente de energía	Contactador principal (380 – 600 VCA)	1 año	\$ 734,50
Antorcha	Cuerpo principal de antorcha	1 año	\$ 908,50
Antorcha	Receptáculo de desconexión rápida	1 año	\$ 552,20
Fuente de energía	Juego bomba del refrigerante	2 años	\$ 546,41
Antorcha	Cables y mangueras de la antorcha	2 años	\$ 2.394,00
Fuente de energía	Juego del motor de refrigerante	4 años	\$ 581,99
Fuente de energía	Cable de arco piloto	5 años	\$ 135,38
Consola de ignición	Transformador alto voltaje	5 años	\$ 282,50
Consola de gas	Conjunto cables y mangueras de gas	5 años	\$ 1.083,00
Conjunto válvula de cierre	Conjunto válvula de cierre	5 años	\$ 904,88
Total			\$8.238,36

Fuente: Colimpo S.A.

Elaborado por: El investigador.

Valor de cambio de partes al año del sistema de plasma

A continuación, en la Tabla 36, se muestra el valor anual que costaría realizar el cambio de partes sin antes realizar un análisis de termografía, se agrupa los componentes por periodo de cambio para sacar su valor total que se toma como base para obtener el porcentaje de valor que se tendría que gastar al año.

Tabla 36. Valor de cambio de partes al año en el sistema de plasma.

Periodo de cambio	Valor/periodo	Valor/año	Máquina/año	Total
1 año o 600 horas arco	\$ 2.310,20	\$ 2.310,20	4	\$ 9.240,80
2 años o 1200 horas arco	\$ 2.940,41	\$ 1.470,21	4	\$ 5.880,82
4 años o 2400 horas arco	\$ 581,99	\$ 145,50	4	\$ 581,99
5 años o 3000 horas arco	\$ 2.405,76	\$ 481,15	4	\$ 1.924,61
				\$ 17.628,22

Fuente: SEDEMI.

Elaborado por: El investigador.

Aproximadamente al año se gastaría en el reemplazo de componentes críticos de los sistemas de plasma 17628,2 dólares en los cuatro sistemas existentes en el área de corte térmico, con posibles presencias de fallo funcionales en el transcurso del funcionamiento del equipo durante el año.

Este estudio permite recopilar información para analizarla técnicamente y programar revisiones mediante el uso de técnicas predictivas que permitan evaluar, medir y dar seguimiento a los componentes dentro de un periodo de tiempo establecido y que permita generar un banco de datos de información confiable que demuestre que la vida útil de los componentes puede ser alargada, bajando el costo de recambio de elementos, justificando técnicamente su funcionamiento antes de que se genere la falla y determinar las acciones necesarias de intervención.

Propuesta de subcontratación de análisis termográfico

Para realizar la propuesta se solicita información a varias empresas que prestan el servicio para obtener información sobre su procedimiento de aplicación, requisitos y costos, se obtiene respuesta de las siguientes empresas:

1.- VIBRATEC S.A., empresa ecuatoriana ubicada en Guayaquil.

Análisis termográfico de una máquina de plasma - Detalles de la propuesta

El trabajo será realizado y supervisado por un operador certificado, utilizando una cámara termográfica de alta resolución. Los datos serán revisados por un Ingeniero especialista en termografía. Un software especial se encargará del análisis básico y la generación de informes para cada situación de alerta (punto caliente). En el informe también se recogerá el criterio del analista acerca de la forma del patrón térmico, sus implicaciones y las respectivas recomendaciones. La norma utilizada será el estándar NETA (International Electric Testing Association).

Valor del servicio: 580 dólares

El cliente corre con los gastos de vuelo y hospedaje

2.- “PREDICTIVA” (Mantenimiento Predictivo Industrial), empresa ecuatoriana ubicada en la ciudad de Sangolquí.

Alcance. - La inspección consiste en revisar los tableros eléctricos de iluminación, de sala de máquinas, transformadores y las partes del sistema eléctrico que consideren pertinentes.

Requerimientos

Que el sistema esté a plena carga.

Que se elabore una ruta de inspección.

Que un técnico de la empresa que conozca el sistema acompañe al inspector.

Que un técnico de la empresa vaya abriendo los tableros, protecciones (las micas son opacas al infrarrojo), tapas, etc.

Recursos Físicos. - Cámara Flir T420

Costo por la Inspección Termográfica en el Plasma \$ 150.00 + IVA = 168 \$

El valor del servicio en todas las propuestas cubre la revisión de todos los componentes del sistema de plasma de los equipos críticos especificados previamente en la Figura 32. Ejemplo de plan de mantenimiento predictivo sistema de plasma, con estos valores se realiza la selección de la mejor propuesta.

Tabla 37. Selección de propuestas de termografía.

Empresa	Servicio	Valor
VIBRATEC S.A	Termografía en Sistema de plasma	\$ 580
PREDICTIVA	Termografía en Sistema de plasma	\$ 168

Fuente: SEDEMI.

Elaborado por: El investigador.

De las cotizaciones presentadas la elegida es la de la empresa PREDICTIVA, tiene una ventaja por su ubicación en la provincia de pichincha y no se pagan rubros extras por movilización como lo estipula la empresa VIBRATEC S.A, ubicada en Guayaquil, también se considera la diferencia de precios que tienen en su servicio de termografía.

Tabla 38. Costo de cambio anual de componentes del Sistema de Plasma.

Valor termografia	Revisiones al año	Sistemas	Total	Observación
\$ 168,00	4	4	\$ 2.688,00	Análisis de todos los componentes

Fuente: SEDEMI.

Elaborado por: El investigador.

Al aplicar la técnica de termografía tendría un costo anual de 2688 dólares en la revisión y confirmación del estado de componentes del sistema de plasma de los equipos críticos, este valor representa el 15% del valor total del reemplazo de componentes (17628,20 dólares), por lo que representaría un ahorro significativo y un aumento en la vida útil de las partes principales, garantizando el funcionamiento del sistema de plasma por más tiempo.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Una vez identificados la maquinaria dentro del área de abastecimiento corte térmico el análisis de criticidad muestra que hay tres equipos críticos siendo los de corte térmico por sistema de plasma, mesa de corte Koike 310, procesadora de placas Kf 2512, mesa de corte Tecoi 4500 y tres importantes como la sierra de cinta peddinghaus 1100DG, perforadora peddinghaus PCD 1100 y la sierra de cinta Birlík ALF 460, del análisis se tiene que considerar la intervención inmediata en los equipos críticos ya que la avería de los mismos afecta significativamente los resultados de la empresa.
- Acorde a la revisión del manual técnico HyPerformance Plasma HPR260XD se evidencia los elementos y componentes críticos del sistema de plasma que se presentan la Tabla 25. Tabla resumen sistema de plasma, que se expone en el capítulo tres de la investigación.
- El grupo de componentes identificados como principales presentan un tipo de fallo funcional el cual debe evitarse que se presente y su magnitud a analizar con la técnica predictiva es la temperatura, esta información nos ayuda a escoger la técnica de termografía como se muestra en la Tabla 25. Tabla resumen sistema de plasma, que se expone en el capítulo tres de la investigación.

- Al analizar información sobre mantenimiento correctivos expuestos mediante el FORMAN 02 SOLICITUD DE MANTENIMIENTO, se calculan los indicadores en primera instancia antes de aplicar la técnica predictiva y después se hace una comparación al aplicar la técnica predictiva, obteniendo una mejora en los indicadores que se observan en la Tabla 29. Resumen fallas en maquinaria, Tabla 30. Resumen tiempo de reparación, Tabla 31. Resumen MTBF, Tabla 32. Resumen MTTR, Tabla 33. Resumen disponibilidad, que se muestran en el capítulo tres de la investigación, estos ayudan a mejorar la confiabilidad y disponibilidad de los equipos del área de abastecimiento corte térmico.
- En el presente estudio se diseña un plan de mantenimiento predictivo basado en información obtenida de la Tabla 25. Tabla resumen sistema de plasma, mostrada en el capítulo tres, donde se observa los elementos, componentes principales, tipo de fallo, magnitud presente y técnica a aplicar, la frecuencia que se toma para la aplicación de la termografía es de 3 meses, basada en información del manual técnico HyPerformance Plasma HPR260XD. Los planes de mantenimiento predictivo de los sistemas de plasma se pueden observar en el Anexo 7. Plan de mantenimiento predictivo mesa de corte Koike 310, Anexo 8. Plan de mantenimiento predictivo procesadora de placas Kf 2512, Anexo 9. Plan de mantenimiento predictivo mesa de corte Tecoi 4500, el plan diseñado muestra los equipos considerados críticos y no representa la totalidad de maquinaria del área de abastecimiento.

Recomendaciones

- Se recomienda partir de una primera revisión de los componentes con la técnica predictiva de termografía en el sistema de plasma, para poder generar una base de datos confiable, medible y trazable que permita obtener un historial que se pueda revisar y comparar su comportamiento a lo largo de la vida útil de los componentes.
- Se recomienda llevar un seguimiento mensual de indicadores del área de abastecimiento corte térmico de manera que se genere una base de datos digital por parte del analista de mantenimiento del área y así monitorear la confiabilidad, disponibilidad y generar un indicador representativo para el departamento de mantenimiento.
- Se recomienda realizar una revisión anual de los indicadores y también de la información termográfica generada para su estudio y toma de decisiones en los próximos planes de mantenimiento y presupuestos que se generan en el departamento.
- Se recomienda, una vez aplicado el cronograma y plan predictivo a los sistemas de plasma, estos se puedan extender a otras partes del equipo y demás maquinaria del área de Abastecimiento, para disminuir los tiempos de reparación por averías inesperadas.
- Se recomienda llevar ordenadamente el registro de información obtenida al aplicar el plan predictivo, generando una base de datos confiable la cual se pueda ingresar en un futuro al GMAO (Gestión de mantenimiento asistido por ordenador), actualmente el departamento de mantenimiento se encuentra analizando la implementación del GMAO para mantener datos e históricos más ordenados y confiables.

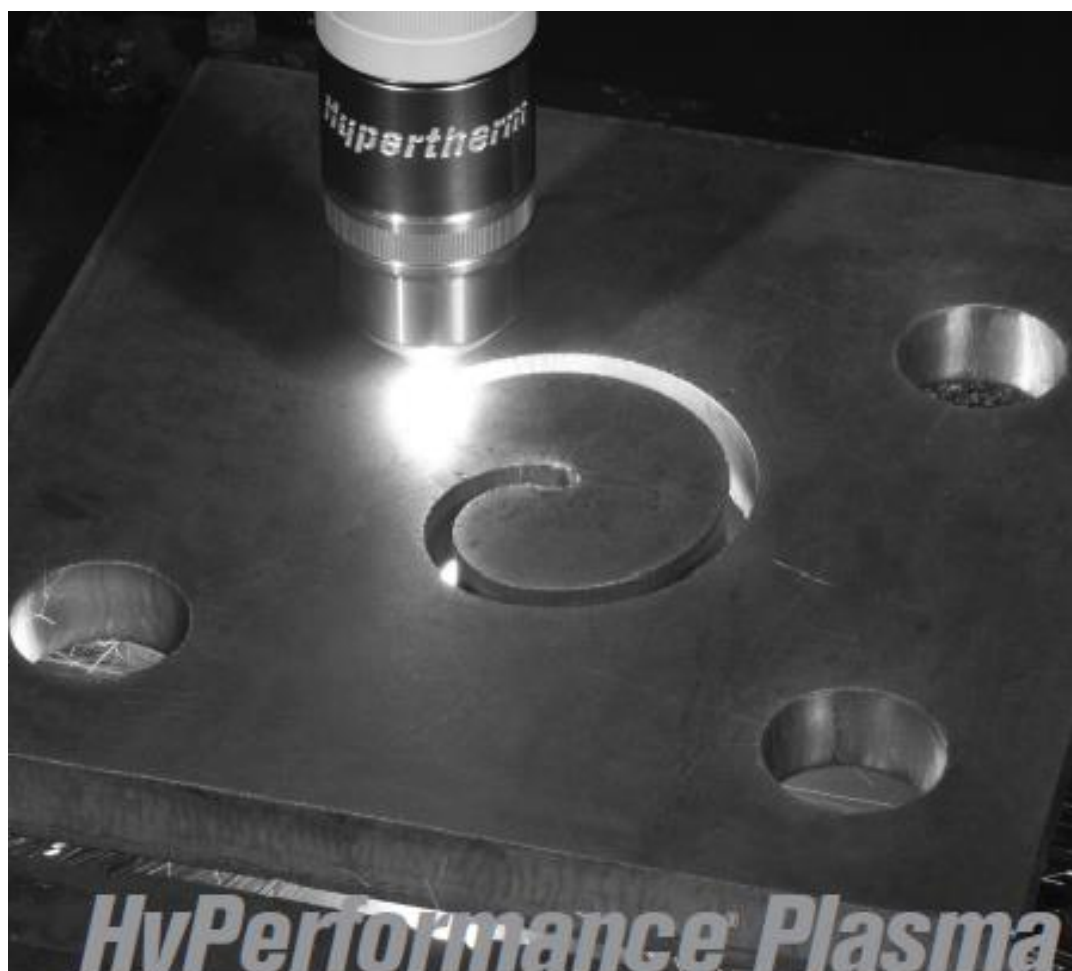
BIBLIOGRAFÍA

- ÁLVAREZ BADILLO, S. (AGOSTO de 2011). ELABORACIÓN DE UN MANUAL DE MANTENIMIENTO PARA LA EMPRESA CRAA INGENIERIA MECANICA.
- Ballesteros Robles, F. (2011). La estrategia predictiva en el mantenimiento industrial. *PREDITEC*, 4.
- Botero, S. (2014). *Técnicas de mantenimiento predictivo utilizadas en la industria*. España: Vertice.
- BUREAU VERITAS. (Julio de 2017). El origen y la actualidad del mantenimiento predictivo a nivel mundial.
- Carrillo, B. (2017). PLANIFICACIÓN, PROGRAMACIÓN Y CONTROL DE MANTENIMIENTO.
- Cedeño Anchundia, E. R., Arévalo Gamboa, L., & León Granizo, O. (2016). Estudio del impacto logístico – técnico que genera el mantenimiento predictivo en las PYMES de Milagro, Ecuador.
- Evonny, A. S. (2017). Implementación de un plan de mantenimiento preventivo centrado en la confiabilidad de las maquinarias en la Empresa Construcciones Reyes S.R.L. para incrementar la productividad.
- Galisteo Amadeu, A. (2013). Elaboración de un plan de mantenimiento predictivo para generadores de inducción en un parque eólico.
- Galvan, J. (2015). *Análisis de la implementación del mantenimiento productivo total (TPM) mediante el modelo de opciones reales*. México: Aveas Beltrán .
- García Garrido, S. (2009 - 2019). *Renovetec*. Obtenido de INDICADORES DE MANTENIMIENTO (KPI): <http://www.mantenimiento.renovetec.com/118-indicadores-de-mantenimiento>
- Garrido, S. G. (2003). *Organización*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos, S. A.
- Gonzáles Fernández, F. J. (2007). TEORÍA Y PRÁCTICA DEL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL AVANZADO.
- Gonzalez, A. (2015). *Teoría y Práctica del Mantenimiento Industrial Avanzado*. México: Perfiles.
- GUALÁN AGUIRRE, N. F., & LUCERO SANCHÉZ, C. V. (JULIO de 2011). ELABORACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA EL ÁREA DE PREPARACIÓN DE LA EMPRESA FRANCELANA S.A.

- Heizer, J., & Render, B. (2009). *Principios de administracion de operaciones*. Mexico: PEARSON EDUCACIÓN.
- JASSO, A. C. (2011). "IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN LA EMPRESA AGR-RACKEND".
- MESA GRAJALES, D., ORTIZ SÁNCHEZ, Y., & PINZÓN, M. (2006). LA CONFIABILIDAD, LA DISPONIBILIDAD Y LA MANTENIBILIDAD, DISCIPLINAS.
- Moscoso, R. (2017). *EL MANTENIMIENTO PROACTIVO EN EQUIPOS MECÁNICOS DE TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS EN ECUADOR*. Ecuador: Revista Ciencia y Tecnología .
- Olarte C, W., Botero A, M., & Cañon Zabaleta, B. (Agosto de 2011). APLICACIÓN DE LA TERMOGRAFÍA EN EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO.
- Porter. (1985).
- Ramírez Castaño, S. (2014). ANÁLISIS DE DATOS DE FALLA.
- Ramírez, C. E. (Agosto de 2015). "Diseño de un Programa de Mantenimiento Preventivo, Predictivo y Correctivo del Sistema Hidráulico Contra Incendio basado en NFPA 25 de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil".
- ROS MORENO, A. (2013). ANÁLISIS DE FIABILIDAD DE EQUIPOS.
- Ruiz, M. (2016). *El mantenimiento industrial. Una experiencia Latinoamericana*. Cúba: Cujae.
- Salas, S. (2017). *Administración del mantenimiento*. México: La Paz.
- Salazar Moreno, R., Rojano Aguilar, A., Figueroa Hernández , E., & Pérez Soto, F. (2013). Aplicaciones de la distribución weibull en ingeniería de confiabilidad.
- SEDEMI. (Agosto de 2016). Plan de Mantenimiento.
- Suárez Negrete , J. (Marzo de 2018). Desarrollo de un sistema de gestión de mantenimiento para reducir la presencia sistemática de fallas y paras imprevistas en equipos y maquinarias en la empresa Productos Avon Ecuador. Quito.
- Villagración, L. (2011). *Tendencias actuales del mantenimiento industrial*. España: Lafta.
- Zambrano, E., Prieto, A. T., & Castillo, R. (2015). Indicadores de gestión de mantenimiento en las. UNIVERSIDAD Rafael Belloso Chacín.
- Zegarra, M. (2016). *Indicadores para la gestión del mantenimiento de equipos pesados*.

ANEXOS

Anexo 1. Manual HyPerformance Plasma HPR 260XD - Manual de instrucciones.



HyPerformance Plasma HPR260XD®

Manual gas

Manual de instrucciones

806343 – Revisión 2

Hypertherm®

https://numerik.com.ar/descargas/HPR260XD_Manual_Gas.pdf

Fuente. SEDEMI.

Anexo 2. Datasheet - Mesa de corte Koike 310.

		MANTENIMIENTO DATASHEET DE MAQUINARIA		FOR MAN 17 VER: 03 FECHA : 15 06 18	
Nombre del Equipo:		MESA DE CORTE KOIKE ARONSON INC. 310 MGM			
Marca:		KOIKE ARONSON	Modelo:	310 MGM	
Serie:		47717	Código:	273894	
Ubicación:		Planta Sedemi	Sección:	Abastecimiento	
Año de fabricación:		abr-12	Procedencia:	Nuev York	
Código mantenimiento:		N/D	Costo estimado:	N/D	
Año puesta en marcha:		13/06/2012			
CARACTERISTICAS GENERALES					
Peso:		1135 Kg	Ancho:	6381 mm	
Alto:		2020 mm	Largo:	15030mm	
SISTEMA ELÉCTRICO					
Voltaje:		(220 control mesa) (440 plasma)	Fases:	(2 + T)- (3 + T)	
Potencia:		300 A (plasma)	Conexión:	(monofásico) (Trifásica)	
RPM:		N/A			
SISTEMA NEUMÁTICO					
Presión de trabajo:		7 bar.			
Caudal de trabajo:		N/D			
SISTEMA HIDRÁULICO					
Tipo de aceite:		N/A			
Cantidad de aceite		N/A			
Presión de trabajo:		N/A			
CAPACIDAD DEL EQUIPO					
Ancho de corte 3100 mm Longitud de corte 13010 mm Velocidad de corte Min.50 Máx. 600 mm/min Espesor de corte 6 mm (PM 100) 16 mm (PM 1250) 20 mm (PM 1650)/Plasma Hasta 150mm (6") de espesor con 4 sopletes. Max. carga de la mesa de corte 500 kg FUNCIÓN: Corte térmico (oxicorte y plasma)					
FABRICANTE Y/O DISTRIBUIDOR DEL EQUIPO			Koike Arosen, Inc.		
Nombre del Contacto:		N/D	E-mail:	N/D	
Teléfono:		EXT77055 1 713-682-9645	Celular:	N/D	
Elaborado por :		Marco Quinga Auxiliar Técnico			

Fuente. SEDEMI.

Anexo 3. Datasheet - Procesadora de placas Kf 2512.

		MANTENIMIENTO DATASHEET DE MAQUINARIA		FOR MAN 17 VER: 03 FECHA : 15 06 18	
Nombre del Equipo:		PROCESADORA DE CHAPAS KF 2512			Fotografía maquinaria
Marca:	KALTENBACH	Modelo:	KF 2512		
Serie:	306009	Código:	N/D		
Ubicación:	Planta Sedemi	Sección:	Abastecimiento		
Año de fabricación:	2010	Procedencia:	Alemania		
Código mantenimiento:	N/D	Costo estimado:	N/D		
Año puesta en marcha:	dic-11				
CARACTERISTICAS GENERALES					
Peso:	12.000 Kg	Ancho:	8000 mm		
Alto:	5000 mm	Largo:	15.500 mm		
SISTEMA ELÉCTRICO					
Voltaje:	440 VAC	Fases:	3 + N + T		
Potencia:	N/D	Conexión:	Trifásica		
RPM:	N/D				
SISTEMA NEUMÁTICO					
Presión de trabajo:	7-8 bar (máx.)				
Caudal de trabajo:	21,18 CFM				
SISTEMA HIDRÁULICO					
Tipo de aceite:	SHELL Tellus Oel				
Cantidad de aceite	N/D				
Presión de trabajo:	N/D				
CAPACIDAD DEL EQUIPO					
Corte de llama de plasma: 80% más rápido con nueva tecnología de plasma CAMPO DE TRABAJO Anchura de la chapa 220-2.500 mm Longitud 500-6.000 mm Espesor 6-60 mm Peso por pieza max 7.000Kg UNIDAD DE TALADRO Vertical (eje Y) 2 Unidades Anchura del taladro 8-50mm N° de revoluciones husillo, reg.x frecuencia min-1 150-1.500 Avance rápido/retroceso rápido 7.500 mm/min. Avance del husillo de taladro 0-800 mm/min. Posicionamiento husillo taladro marcha rápida 30.000 mm/min. Cambio automático de herramientas puestos del almacén cargador 6 unidades TRANSPORTE DE MATERIAL Y MEDICION LONGITUDINAL CON PINZA HIDRAULICA DE SUJECION Presión de sujeción 14.000 N Velocidad de posicionamiento máx. 15.000 mm/min. Retroceso rápido máx. 30.000 mm/min. POTENCIA MOTRIZ Accto, taladro, reg. por frecuencia 26.0 KW Grupo hidráulico (capacidad de transporte 25 l/min) 4.0 KW Cinta de rodillos de alimentación para longitudes chapa hasta máx. 6.300 mm Cinta de rodillos de descarga para longitudes chapa hasta máx. 2.000 mm Altura de trabajo sobre el suelo 800 mm FUNCION: La máquina esta diseñada para taladrar, avellanar y roscar Métodos de corte autógeno y plasma FABRICANTE Y/O DISTRIBUIDOR DEL EQUIPO Kaltenbach GmbH + Co. KG Blasaring D-79539 Lörrach Nombre del Contacto: Francisco Jaramillo E-mail: info@kaltenbach.del Teléfono: (+49)-7621-175 - 0 Celular: (+519)50976494 Elaborado por : Marco Quinga Auxiliar Técnico					

Fuente. SEDEMI.

Anexo 4. Datasheet - Mesa de corte Tecoi 4500

		MANTENIMIENTO DATASHEET DE MAQUINARIA		FOR MAN 17 VER: 03 FECHA : 15 06 18	
Nombre del Equipo:		MESA DE CORTE TECOI TEKNOS 4500			Fotografía maquinaria
Marca:	TECOI	Modelo:	TEKNOS 4500		
Serie:	300 HPR 400 XD ECOTEC 16 T 333	Código:	N/D		
Ubicación:	Planta Sedemi	Sección:	Abastecimiento		
Año de fabricación:	2015	Procedencia:	España		
Código mantenimiento:	N/D	Costo estimado:	N/D		
Año puesta en marcha:	01/05/2016				
CARACTERISTICAS GENERALES					
Peso:	N/D	Ancho:	7750 mm		
Alto:	2700 mm	Largo:	25540 mm		
SISTEMA ELÉCTRICO					
Voltaje:	230 VAC	Fases:	3 + N + T		
Potencia:	15 KW	Conexión:	Trifásico		
RPM:	N/A				
SISTEMA NEUMÁTICO					
Presión de trabajo:	7-9 bar				
Caudal de trabajo:	N/D				
SISTEMA HIDRÁULICO					
Tipo de aceite:	N/A				
Cantidad de aceite	N/A				
Presión de trabajo:	N/A				
CAPACIDAD DEL EQUIPO					
Rendimiento: Ancho de corte de 200 mm- 3150mm Longitud de corte de 200 mm - 24000 mm Velocidad de posicionamiento de 40m/min. Espesor a cortar Plasma: 3 mm - 50 mm Oxicorte: 40 mm - 150 mm Sistema exclusivo DRILTEC® para alta capacidad de taladrado hasta 40 mm. de diámetro con motor de 11 KW. FUNCIÓN : Esta diseñada para el corte con requerimiento de calidad en alta definición Plasma Biselado Oxicorte Taladrado Marcado y corte de tubos					
FABRICANTE Y/O DISTRIBUIDOR DEL EQUIPO			TECOI P.L. La Herrera,1 24812 Shaelices de Sabero Leon-Spain		
Nombre del Contacto:	Oscar Tecoi	E-mail:	sat@tecoi.com		
Teléfono:	(+34)987 70 30 92	Celular:	(+34)697574105		
Elaborado por :	Marco Quinga Auxiliar Técnico				

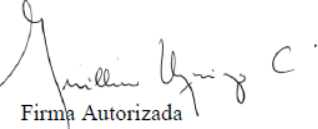
Fuente. SEDEMI.

Anexo 5. Cotización análisis termográfico Vibratéc S.A.

	R.U.C. 0991380000001 José Mascote 2410-A y Cuenca Telfs.: (593-4) 3726190 al 199 Casilla: 09-01-8510 E-mail: vibratéc@vibratéc.net Guayaquil- Ecuador		VT-ADM-OFR-2019-0465	
	Versión :	Fecha 14 OCTUBRE 2019	Página 1	

Empresa: SEDEMI
Para: DARIO LOYA
Fecha: OCTUBRE 14 DEL 2019
Validez oferta: 30 días
Forma de pago: Crédito 30 días

Cantidad	Descripción	Total
1	Análisis termográfico de una máquina de plasma Detalles de la propuesta El trabajo será realizado y supervisado por un operador certificado, utilizando una cámara termográfica de alta resolución. Los datos serán revisados por un Ingeniero especialista en termografía. Un software especial se encargará del análisis básico y la generación de informes para cada situación de alerta (punto caliente). En el informe también se recogerá el criterio del analista acerca de la forma del patrón térmico, sus implicaciones y las respectivas recomendaciones.	\$ 580.00
	La norma utilizada será el estándar NETA (International Electric Testing Association). .Los gastos del pasaje Guayaquil-Quito-Guayaquil corren por cuenta de SEDEMI La transportación interna Aeropuerto de Quito – sitio del trabajo – Aeropuerto, corren por cuenta de SEDEMI. SEDEMI asignará una persona de contacto y se asegurará de la disponibilidad del equipo. La máquina será probada con carga, para asegurar la eficacia del monitoreo termográfico. PRECIO NO INCLUYE IVA	\$ 580.00

 Firma Autorizada	Firma y Sello del Comprador
---	-----------------------------

Fuente. VIBRATEC S.A.

Anexo 6. Cotización análisis termográfico Predictiva.



Quito, 28 de Octubre

OCT-2019-2379

Señores
SEDEMI

Atn. Ing.
DEPARTAMENTO TECNICO

Asunto: **OFERTA DE SERVICIOS DE TERMOGRAFIA**

Acerca de la Empresa

PREDICTIVA es una empresa de servicios de Mantenimiento Predictivo Industrial que desde hace 25 años viene trabajando en el ámbito de Vibraciones Mecánicas, alineamiento preciso de ejes mediante la técnica láser, balanceo dinámico y medición de espesores por ultrasonido.

Desde hace 15 años hemos prestado servicios de Termografía Industrial inspeccionando especialmente Instalaciones eléctricas.

Alcance

La inspección consiste en revisar los tableros eléctricos de iluminación, de sala de máquinas, transformadores y las partes del sistema eléctrico que consideren pertinentes.

Requerimientos

Que el sistema esté a plena carga.

Que se elabore una ruta de inspección.

Que un técnico de la empresa que conozca el sistema acompañe al inspector.

Que un técnico de la empresa vaya abriendo los tableros, protecciones (las micas son opacas al infrarrojo), tapas, etc.

Recursos Físicos

Cámara Flir T420

Costo.

Por la Inspección Termográfica en el Plasma	\$	150.00
---	----	--------

En este precio no está incluido el IVA.

Fuente. PREDICITIVA.

Anexo 7. Plan de mantenimiento predictivo mesa de corte Koike 310.

	PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO		Código: 0000 Version: 00 Fecha: AA-BB-CCC Página: 1
	Código :	CT-MK-01	
	Máquina :	Mesa de corte	
	Marca :	Koike	
	Modelo :	MGM 310	
	Análisis:	Critico	
	Frecuencia de trabajo:	16 Horas/día	

Sistema	Elemento	Componente	Actividad	Tiempo (min)	Frecuencia	Responsable
Sistema de Plasma	Fuente de energía	Relé arco piloto	Tomar lectura con camara termografica	5	3 meses	Proveedor externo
	Fuente de energía	Contactador principal (380 – 600 VCA)	Tomar lectura con camara termografica	5	3 meses	Proveedor externo
	Fuente de energía	Juego bomba del refrigerante	Tomar lectura con camara termografica	5	3 meses	Proveedor externo
	Fuente de energía	Juego del motor de refrigerante	Tomar lectura con camara termografica	5	3 meses	Proveedor externo
	Fuente de energía	Cable de arco piloto	Tomar lectura con camara termografica	5	3 meses	Proveedor externo
	Consola de ignición	Transformador alto voltaje	Tomar lectura con camara termografica	5	3 meses	Proveedor externo
	Consola de gas	Conjunto cables y mangueras de gas	Tomar lectura con camara termografica	5	3 meses	Proveedor externo
	Antorcha	Cuerpo principal de antorcha	Tomar lectura con camara termografica	5	3 meses	Proveedor externo
	Antorcha	Receptáculo de desconexión rápida	Tomar lectura con camara termografica	5	3 meses	Proveedor externo
	Antorcha	Cables y mangueras de la antorcha	Tomar lectura con camara termografica	5	3 meses	Proveedor externo
	Conjunto válvula de cierre	Conjunto válvula de cierre	Tomar lectura con camara termografica	5	3 meses	Proveedor externo

Fuente. El investigador.

Anexo 8. Plan de mantenimiento predictivo procesadora de placas Kf 2512.

	PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO		Código: 0000 Version: 00 Fecha: AA-BB-CCC Página: 1
	Código :	CT-PK-03	
	Máquina :	Procesadora de placas	
	Marca :	Kaltenbach	
	Modelo :	KF2512	
	Análisis:	Critico	
	Frecuencia de trabajo:	16 Horas/día	

Sistema	Elemento	Componente	Actividad	Tiempo (min)	Frecuencia	Responsable
Sistema de Plasma	Fuente de energia	Relé arco piloto	Tomar lectura con camara termografica	5	3 meses	Proveedor externo
	Fuente de energia	Contactor principal (380 – 600 VCA)	Tomar lectura con camara termografica	5	3 meses	Proveedor externo
	Fuente de energia	Juego bomba del refrigerante	Tomar lectura con camara termografica	5	3 meses	Proveedor externo
	Fuente de energia	Juego del motor de refrigerante	Tomar lectura con camara termografica	5	3 meses	Proveedor externo
	Fuente de energia	Cable de arco piloto	Tomar lectura con camara termografica	5	3 meses	Proveedor externo
	Consola de ignición	Transformador alto voltaje	Tomar lectura con camara termografica	5	3 meses	Proveedor externo
	Consola de gas	Conjunto cables y mangueras de gas	Tomar lectura con camara termografica	5	3 meses	Proveedor externo
	Antorcha	Cuerpo principal de antorcha	Tomar lectura con camara termografica	5	3 meses	Proveedor externo
	Antorcha	Receptáculo de desconexión rápida	Tomar lectura con camara termografica	5	3 meses	Proveedor externo
	Antorcha	Cables y mangueras de la antorcha	Tomar lectura con camara termografica	5	3 meses	Proveedor externo
	Conjunto válvula de cierre	Conjunto válvula de cierre	Tomar lectura con camara termografica	5	3 meses	Proveedor externo

Fuente. El investigador.

Anexo 9. Plan de mantenimiento predictivo mesa de corte Tecoi 4500.

	PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO		Código: 0000 Version: 00 Fecha: AA-BB-CCC Página: 1
	Código :	CT-MT-02	
	Máquina :	Mesa de corte	
	Marca :	Tecoi	
	Modelo :	Teknos 4500	
	Análisis:	Critico	
	Frecuencia de trabajo:	16 Horas/día	

Sistema	Elemento	Componente	Actividad	Tiempo (min)	Frecuencia	Responsable
Sistema de Plasma	Fuente de energía	Relé arco piloto	Tomar lectura con camara termografica	5	3 meses	Proveedor externo
	Fuente de energía	Contactor principal (380 – 600 VCA)	Tomar lectura con camara termografica	5	3 meses	Proveedor externo
	Fuente de energía	Juego bomba del refrigerante	Tomar lectura con camara termografica	5	3 meses	Proveedor externo
	Fuente de energía	Juego del motor de refrigerante	Tomar lectura con camara termografica	5	3 meses	Proveedor externo
	Fuente de energía	Cable de arco piloto	Tomar lectura con camara termografica	5	3 meses	Proveedor externo
	Consola de ignición	Transformador alto voltaje	Tomar lectura con camara termografica	5	3 meses	Proveedor externo
	Consola de gas	Conjunto cables y mangueras de gas	Tomar lectura con camara termografica	5	3 meses	Proveedor externo
	Antorcha	Cuerpo principal de antorcha	Tomar lectura con camara termografica	5	3 meses	Proveedor externo
	Antorcha	Receptáculo de desconexión rápida	Tomar lectura con camara termografica	5	3 meses	Proveedor externo
	Antorcha	Cables y mangueras de la antorcha	Tomar lectura con camara termografica	5	3 meses	Proveedor externo
	Conjunto válvula de cierre	Conjunto válvula de cierre	Tomar lectura con camara termografica	5	3 meses	Proveedor externo

Fuente. El investigador.

Anexo 10. Programa de mantenimiento predictivo mesa de corte Koike 310.

[illegible]

Fuente. El investigador.

Anexo 11. Programa de mantenimiento predictivo procesadora de placas Kf 2512.

	PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO																Código: 0000 Version: 00 Fecha: AA-BB-CCC Página: 1				NOMENCLATURA EMPLEADA											
	Máquina:		Procesadora de placas																		M				Mensual							
	Marca:		Kaltenbach																		T				Trimestral							
	Modelo:		KF 2512																		St				Semestral							
	Análisis:		Critica																		A				Anual							
	Elaborado:		Analista Técnico						Fecha :		01/01/20XX										X				Otro							
Aprobado:		Jefe de Mantemineto						Fecha :		01/01/20XX																						

Revision termografica de componentes:	ENERO				FEBRERO				MARZO				ABRIL				MAYO				JUNIO				JULIO				AGOSTO				SEPTIEMBRE				OCTUBRE				NOVIEMBRE				DICIEMBRE			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4								
Relé arco piloto					T												T																															
Contactor principal (380 – 600 VCA)					T												T																															
Juego bomba del refrigerante					T												T																															
Juego del motor de refrigerante					T												T																															
Cable de arco piloto					T												T																															
Transformador alto voltaje					T												T																															
Conjunto cables y mangueras de gas					T												T																															
Cuerpo principal de antorcha					T												T																															
Receptáculo de desconexión rápida					T												T																															
Cables y mangueras de la antorcha					T												T																															
Conjunto válvula de cierre					T												T																															

Fuente. El investigador.

Anexo 12. Programa de mantenimiento predictivo mesa de corte Tecoi 4500.

	PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO																Código: 0000 Version: 00 Fecha: AA-BB-CCC Página: 1				NOMENCLATURA EMPLEADA											
	Máquina:		Mesa de Corte																		M				Mensual							
	Marca:		Tecoi																		T				Trimestral							
	Modelo:		Teknos 4500																		St				Semestral							
	Análisis:		Critica																		A				Anual							
	Elaborado:		Analista Técnico						Fecha :		01/01/20XX										X				Otro							
Aprobado:		Jefe de Mantemineto						Fecha :		01/01/20XX																						

Revision termografica de componentes:	ENERO				FEBRERO				MARZO				ABRIL				MAYO				JUNIO				JULIO				AGOSTO				SEPTIEMBRE				OCTUBRE				NOVIEMBRE				DICIEMBRE			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4								
Relé arco piloto					T											T																																
Contactor principal (380 – 600 VCA)					T											T																																
Juego bomba del refrigerante					T											T																																
Juego del motor de refrigerante					T											T																																
Cable de arco piloto					T											T																																
Transformador alto voltaje					T											T																																
Conjunto cables y mangueras de gas					T											T																																
Cuerpo principal de antorcha					T											T																																
Receptáculo de desconexión rápida					T											T																																
Cables y mangueras de la antorcha					T											T																																
Conjunto válvula de cierre					T											T																																

Fuente. El investigador

Anexo 13. Datos recogidos de solicitudes de mantenimiento correctivo.

Fecha ingreso	Máquina	Tipo de falla	Fecha fin	TTR (hora)	TBF (hora)
9/3/2018 9:00 AM	Koike 310	Mecánico	9/3/2018 11:00 AM	2	809
14/4/2018 8:00 AM	Koike 310	Eléctrico	16/4/2018 12:00 PM	36	434
10/6/2018 8:00 AM	Koike 310	Plasma	11/6/2018 1:30 PM	21,5	668
21/7/2018 10:30 AM	Koike 310	Mecánico	21/7/2018 11:00 AM	0,5	517
2/10/2018 11:30 PM	Koike 310	Plasma	3/10/2018 2:30 AM	3	896,5
19/10/2018 11:00 AM	Koike 310	Plasma	19/10/2018 1:30 PM	2,5	212,5
29/10/2018 12:00 PM	Koike 310	Plasma	30/10/2018 2:00 AM	18	110,5
6/1/2019 9:00 AM	Koike 310	Plasma	6/1/2019 3:30 PM	5,5	779
16/1/2019 8:30 AM	Koike 310	Plasma	16/1/2019 11:30 AM	3	130
TTR (Tiempo para restaurar)				ΣTTR	92
TBF (Tiempo entre fallas)				ΣTBF	6193
				Tiempo total programado para producir	6285

Fecha ingreso	Máquina	Tipo de falla	Fecha fin	TTR (hora)	TBF (hora)
8/3/2018 10:30 AM	Kf 2512	Software	8/3/2018 11:30 AM	1	795,5
20/3/2018 9:30 AM	Kf 2512	Software	20/3/2018 10:30 AM	1	141,0
24/4/2018 11:00 AM	Kf 2512	Mecánico	24/4/2018 11:30 AM	0,5	445,5
18/6/2018 8:30 AM	Kf 2512	Eléctrico	18/6/2018 10:30 AM	2	669
10/7/2018 2:30 PM	Kf 2512	Software	10/7/2018 4:00 PM	1,5	284
20/8/2018 10:00 AM	Kf 2512	Mecánico	30/8/2018 9:00 AM	135	490
6/9/2018 9:00 AM	Kf 2512	Plasma	6/9/2018 10:30 AM	1,5	88
21/11/2018 9:30 AM	Kf 2512	Software	21/11/2018 12:30 PM	3	919
13/12/2018 3:30 PM	Kf 2512	Mecánico	13/12/2018 4:00 PM	0,5	282
17/12/2018 8:30 AM	Kf 2512	Plasma	17/12/2018 10:30 AM	2	34,5
1/2/2019 2:00 PM	Kf 2512	Plasma	1/2/2019 4:00 PM	2	561,5
8/3/2019 9:30 AM	Kf 2512	Eléctrico	8/3/2019 11:00 AM	1,5	402,5
25/3/2019 10:00 AM	Kf 2512	Mecánico	26/3/2019 5:00 PM	22	199
1/4/2019 4:00 PM	Kf 2512	Plasma	1/4/2019 4:30 PM	0,5	71
27/5/2019 9:00 AM	Kf 2512	Mecánico	27/5/2019 10:30 AM	1,5	649,5
TTR (Tiempo para restaurar)				ΣTTR	175,5
TBF (Tiempo entre fallas)				ΣTBF	6109,5
				Tiempo total programado para producir	6285

Fecha ingreso	Máquina	Tipo de falla	Fecha fin	TTR (hora)	TBF (hora)
8/3/2018 3:00 PM	Tecoi 4500	Plasma	8/3/2018 4:30 PM	1,5	798
4/5/2018 11:00 PM	Tecoi 4500	Plasma	7/5/2018 3:30 PM	27,5	704,5
12/9/2018 10:00 AM	Tecoi 4500	Mecánico	12/9/2018 2:00 PM	5	1596
13/9/2018 9:30 AM	Tecoi 4500	Mecánico	13/9/2018 12:30 PM	3	10,5
17/4/2019 9:30 AM	Tecoi 4500	Mecánico	17/4/2019 1:00 PM	3,5	2613
3/5/2019 9:00 AM	Tecoi 4500	Plasma	3/5/2019 12:30 PM	3,5	188,0
31/5/2019 9:00 AM	Tecoi 4500	Mecánico	31/5/2019 12:00 PM	3	316,5
TTR (Tiempo para restaurar)				ΣTTR	47
TBF (Tiempo entre fallas)				ΣTBF	6238
				Tiempo total programado para producir	6285

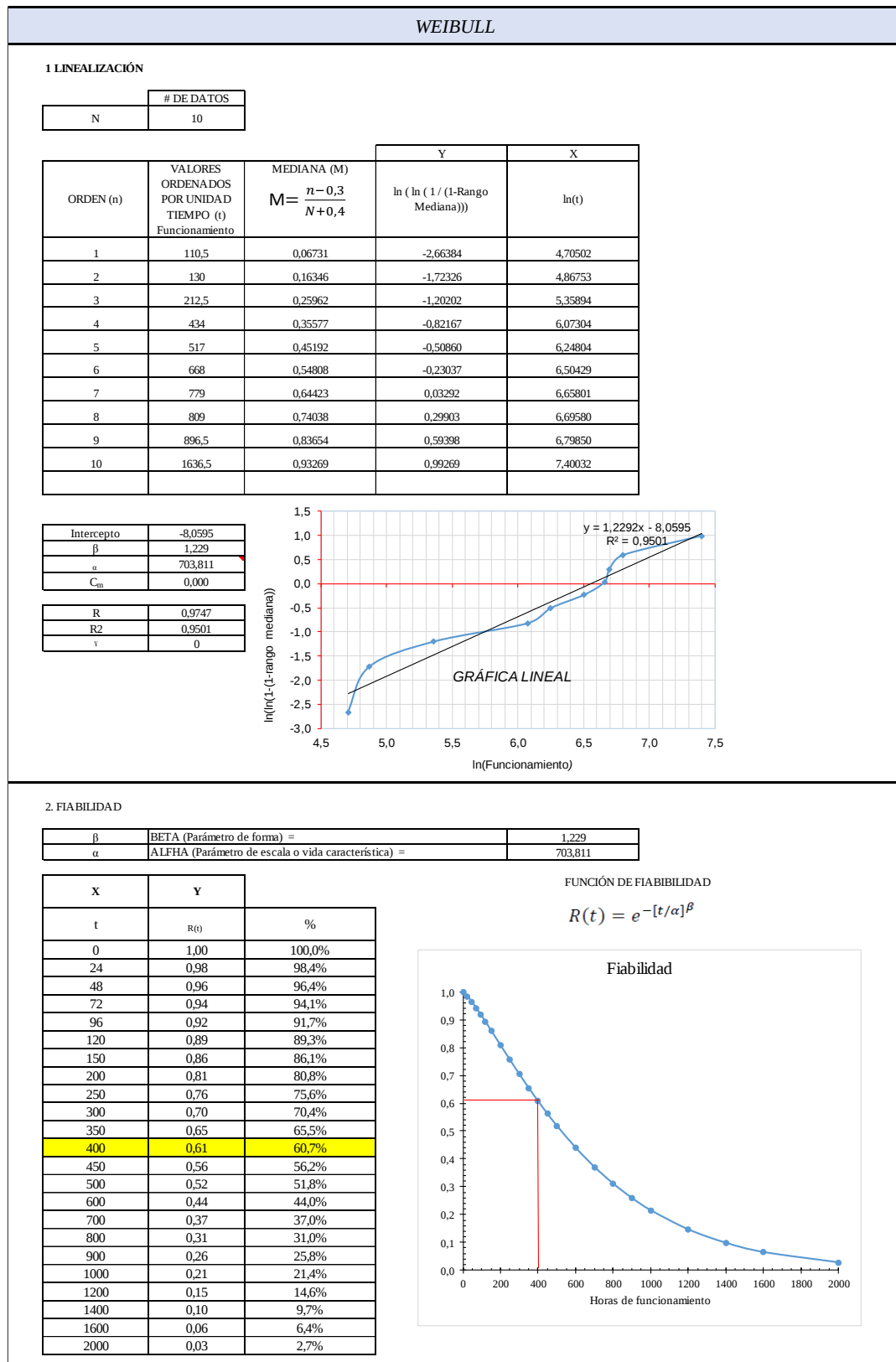
Anexo 14. Datos recogidos de solicitudes de mantenimiento correctivo – tiempos reducidos.

Nº	Fecha ingreso	Máquina	Tipo de falla	Fecha fin	TTR (hora)	TBF (hora)
1	9/3/2018 9:00 AM	Koike 310	Mecánico	09/03/2018 11:00	2	809
2	14/4/2018 8:00 AM	Koike 310	Eléctrico	16/04/2018 12:00	36	434
3	10/6/2018 8:00 AM	Koike 310	Plasma	11/06/2018 13:30	21,5	668
4	21/7/2018 10:30 AM	Koike 310	Mecánico	21/07/2018 11:00	0,5	517
5	29/10/2018 12:00 PM	Koike 310	Plasma	30/10/2018 2:00	18	1225
6	6/1/2019 9:00 AM	Koike 310	Plasma	06/01/2019 15:30	5,5	779
TTR (Tiempo para restaurar)				ΣTTR	83,5	1769,5
TBF (Tiempo entre fallas)				ΣTBF		6202
Tiempo total programado					6285	

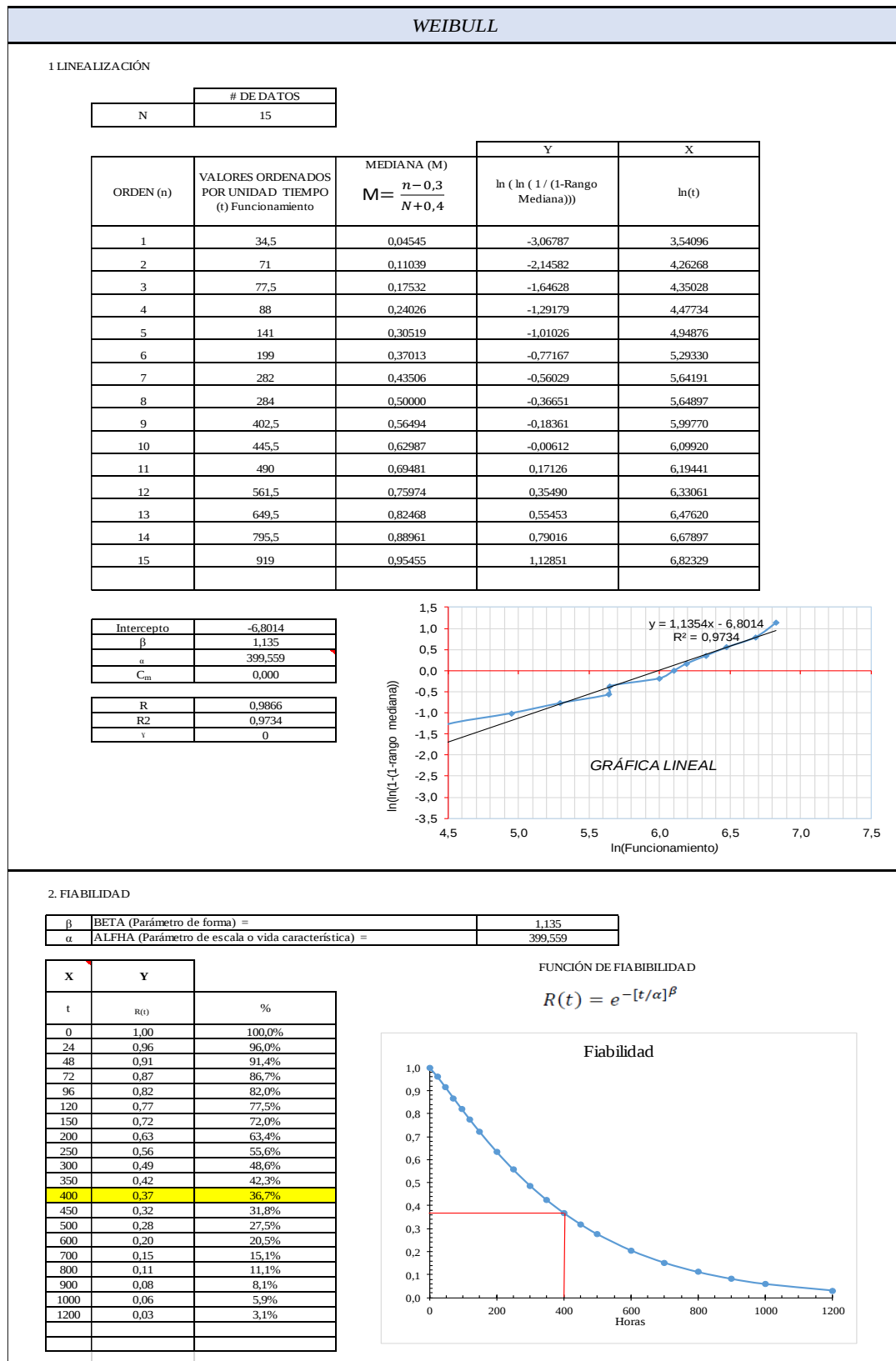
Nº	Fecha ingreso	Máquina	Tipo de falla	Fecha fin	TTR (hora)	TBF (hora)
1	8/3/2018 10:30 AM	Kf 2512	Software	8/3/2018 11:30 AM	1	795,5
2	20/3/2018 9:30 AM	Kf 2512	Software	20/3/2018 10:30 AM	1	141
3	18/6/2018 8:30 AM	Kf 2512	Eléctrico	18/6/2018 10:30 AM	2	1115
4	10/7/2018 2:30 PM	Kf 2512	Software	10/7/2018 4:00 PM	1,5	284
5	20/8/2018 10:00 AM	Kf 2512	Mecánico	30/8/2018 9:00 AM	135	490
6	21/11/2018 9:30 AM	Kf 2512	Software	21/11/2018 12:30 PM	3	1008,5
7	13/12/2018 3:30 PM	Kf 2512	Mecánico	13/12/2018 4:00 PM	0,5	282
8	1/2/2019 2:00 PM	Kf 2512	Plasma	1/2/2019 4:00 PM	2	598
9	8/3/2019 9:30 AM	Kf 2512	Eléctrico	8/3/2019 11:00 AM	1,5	402,5
10	25/3/2019 10:00 AM	Kf 2512	Mecánico	26/3/2019 5:00 PM	22	199
11	1/4/2019 4:00 PM	Kf 2512	Plasma	1/4/2019 4:30 PM	0,5	71
12	27/5/2019 9:00 AM	Kf 2512	Mecánico	27/5/2019 10:30 AM	1,5	649,5
TTR (Tiempo para restaurar)				ΣTTR	171,5	77,5
TBF (Tiempo entre fallas)				ΣTBF		6113,5
Tiempo total programado para producir					6285	

Nº	Fecha ingreso	Máquina	Tipo de falla	Fecha fin	TTR (hora)	TBF (hora)
1	12/9/2018 10:00 AM	Tecoi 4500	Mecánico	12/9/2018 2:00 PM	5	3127
2	13/9/2018 9:30 AM	Tecoi 4500	Mecánico	13/9/2018 12:30 PM	3	10,5
3	17/4/2019 9:30 AM	Tecoi 4500	Mecánico	17/4/2019 1:00 PM	3,5	2613
4	3/5/2019 9:00 AM	Tecoi 4500	Plasma	3/5/2019 12:30 PM	3,5	188,0
5	31/5/2019 9:00 AM	Tecoi 4500	Mecánico	31/5/2019 12:00 PM	3	316,5
TTR (Tiempo para restaurar)				ΣTTR	18	12,0
TBF (Tiempo entre fallas)				ΣTBF		6267
Tiempo total programado para producir					6285	

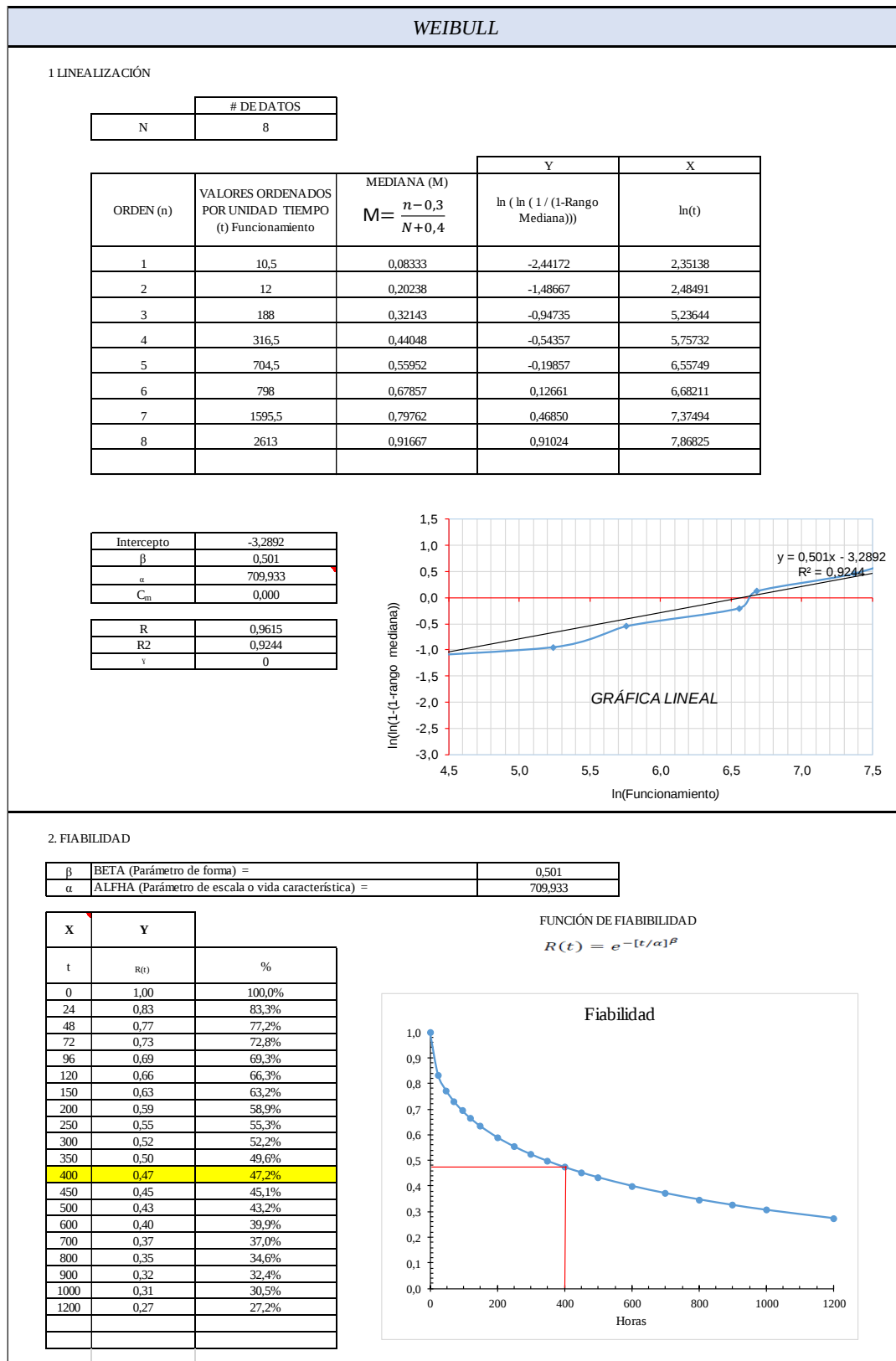
Anexo 15. Cálculo de confiabilidad mesa de corte Koike 310.



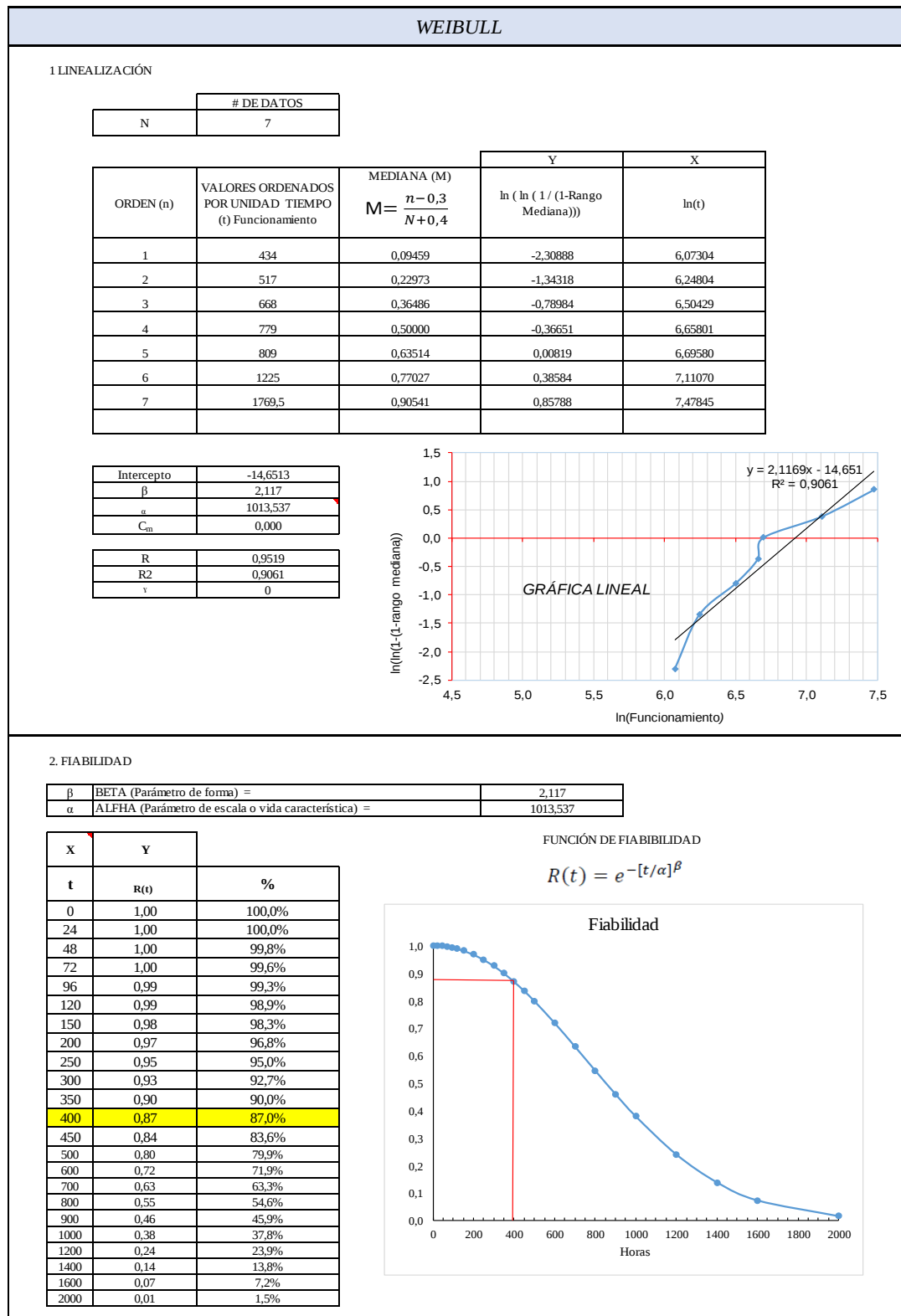
Anexo 16. Cálculo de confiabilidad procesadora de placas Kf 2512.



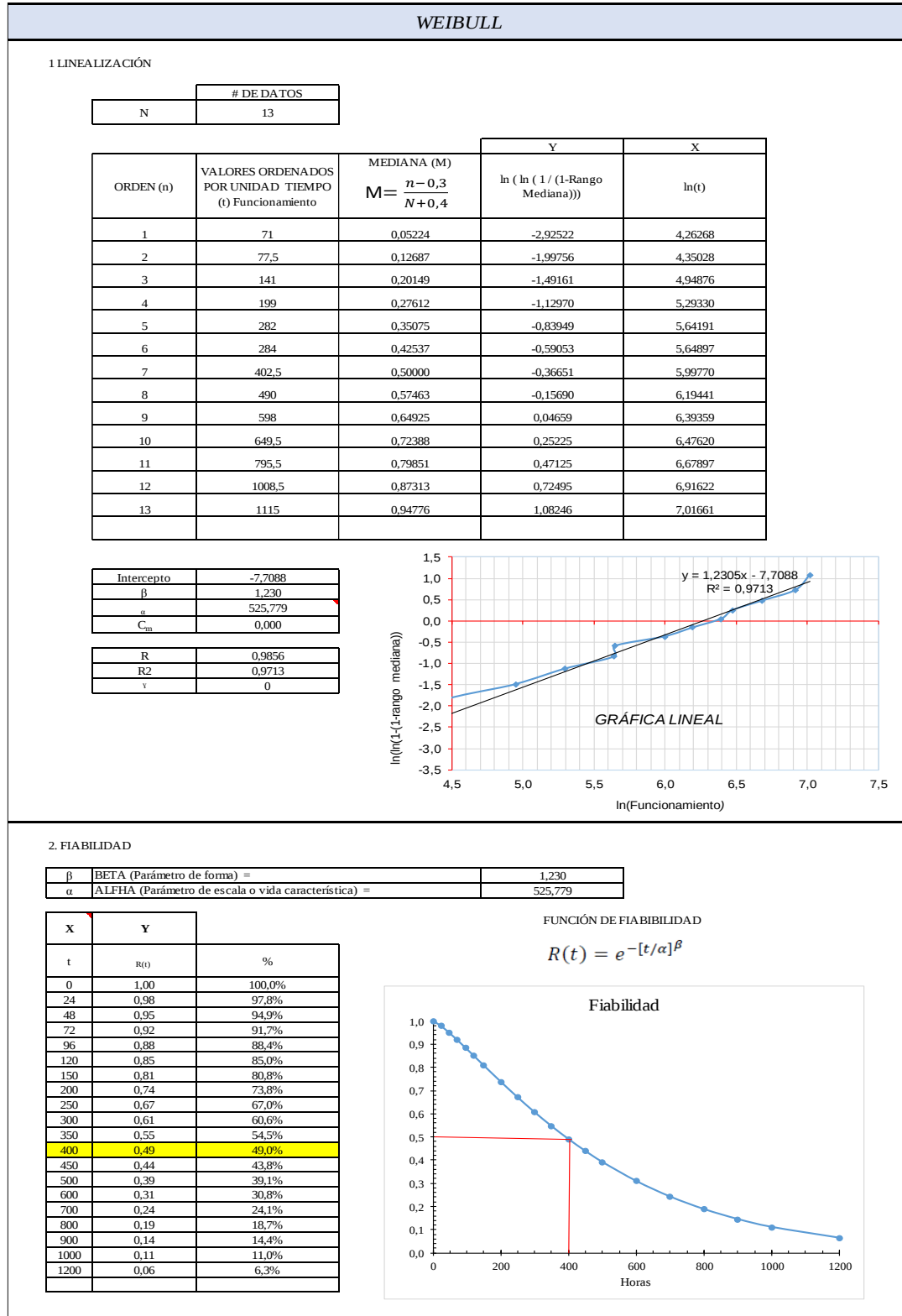
Anexo 17. Cálculo de confiabilidad mesa de corte Tecoi 4500.



Anexo 18. Cálculo de fiabilidad mesa de corte Koike 310 – tiempo de falla reducido



Anexo 19. Cálculo de fiabilidad procesadora de placas Kf 2512 – tiempo de falla reducido.



Anexo 20. Cálculo de fiabilidad mesa de corte Tecoi 4500 – tiempo de falla reducido.

