

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA

FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

TEMA:

**“ESTUDIO DE LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO
PREVENTIVO Y LA DISPONIBILIDAD DE LOS
MOTORES HYUNDAI 9H21/32 DE LA BAHÍA 4 DE LA
CENTRAL TERMOELÉCTRICA QUEVEDO”**

**Trabajo de Titulación bajo la modalidad Estudio Técnico, previo
a la obtención del título de Ingeniero Industrial**

AUTOR:

Byron Alberto Muñoz Garcés

TUTOR:

Ing. Edwin Leonardo Sánchez Almeida, Mg

AMBATO - ECUADOR

2017

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de catedrático tutor del Proyecto Técnico de grado previo a la obtención del título de Ingeniero Industrial, titulado: “ESTUDIO DE LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y LA DISPONIBILIDAD DE LOS MOTORES HYUNDAI 9H21/32 DE LA BAHÍA 4 DE LA CENTRAL TERMOELÉCTRICA QUEVEDO”, elaborado por el señor: Byron Alberto Muñoz Garcés. Certifico, que dicho proyecto 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.

En la ciudad de Ambato a los 18 días del mes de agosto de 2017

Ing. Edwin Leonardo Sánchez Almeida, Mg

TUTOR

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

En calidad de estudiante de la Facultad de Ingeniería Industrial, declaro que los contenidos de este Informe de Estudio Técnico, requisito previo a la obtención del Título de Ingeniero Industrial, son absolutamente originales, auténticos, personales y de exclusiva responsabilidad legal y académica del autor.

EL AUTOR

Byron Alberto Muñoz Garcés

C.I 180358395-2

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

Yo, Byron Alberto Muñoz Garcés, declaro ser autor del Estudio Técnico, titulado “ESTUDIO DE LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y LA DISPONIBILIDAD DE LOS MOTORES HYUNDAI 9H21/32 DE LA BAHÍA 4 DE LA CENTRAL TERMOELÉCTRICA QUEVEDO”, como requisito para optar al grado de “Ingeniero Industrial”, 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 Ambato, a los 07 días del mes de agosto de 2017, firmo conforme:

Autor: Byron Alberto Muñoz Garcés

Firma:

Número de Cédula: 180358395-2

Dirección: Av. Jácome Clavijo y Gustavo Egüez

Correo Electrónico: byron3084@hotmail.com

Teléfono: 0995305550

APROBACIÓN TRIBUNAL

El informe de Proyecto técnico, ha sido revisado, aprobado y autorizada su impresión y empastado, previo a la obtención del título de Ingeniero Industrial por lo tanto autorizamos al postulante a la presentación a efecto de su sustentación pública. Para constancia firman.

Ambato, agosto 08, 2017

Ing. María Belén Ruales Martínez, Mg
PRESIDENTE

Ing. Isabel Marina Quinde Cuenca, Mg
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Pedro Segundo Muzo Villacís, M.Sc.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

DEDICATORIA

A Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente, en las buenas y malas, en las noches más frías y por eso debo todo a él, ya pesar de mis errores en esta vida supo perdonarme, comenzar nuevamente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

Mi Hijo Gabriel Alexander Muñoz Aldaz, para que veas en mí un ejemplo a seguir.

Byron Alberto

AGRADECIMIENTO

A toda mi familia por el apoyo moral incondicional que ha sido pilar fundamental que han dado todo el esfuerzo para que yo ahora este culminando esta etapa de mi vida y darles las gracias por apoyarme en todos los momentos difíciles de mi vida tales como la felicidad, la tristeza; seré un gran orgullo para mi familia y para todos que confiaron en mí.

Finalmente, a los docentes, aquellos que marcaron cada etapa de mi camino universitario y que me ayudaron en asesorías y dudas presentadas en la elaboración de la tesis.

Gracias

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN	ii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	iii
AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL AUTOR.....	iv
APROBACIÓN TRIBUNAL.....	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ANEXOS.....	xiii
RESUMEN EJECUTIVO	xiv
ABSTRACT.....	xv

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

Tema:.....	1
Introducción	1
Árbol de problemas	5
Antecedentes	6
Justificación.....	7
Objetivos	8
Objetivo General	8
Objetivos Específicos.....	8

CAPÍTULO II METODOLOGÍA

Área de estudio.....	10
Enfoque	10
Justificación de la metodología.....	11
Población y muestra	12
Diseño del trabajo	16
Procedimientos para obtención y análisis de datos	18

Hipótesis.....	20
Formulación de la Hipótesis.....	20

CAPÍTULO III

DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

Análisis de la situación actual.....	21
Lista de verificación de la gestión de mantenimiento.....	22
Área: Organización de Mantenimiento.....	22
Área: Mantenimiento Preventivo.....	25
Área: Personal de mantenimiento.....	29
Área: Recursos.....	32
Evaluación del departamento técnico de mantenimiento.....	37
Mantenimiento preventivo.....	44
Mantenimiento correctivo.....	44
Mantenimiento programado.....	45
Mantenimiento por avería o reparación.....	45
Disponibilidad.....	45
Disponibilidad de los motores Hyundai 9H21/32.....	46
Identificación de fallas potenciales en los sistemas del motor Hyundai 9H21/32.....	47
Hojas de control de componentes.....	49
Matriz de análisis modal de efectos y fallos (AMFE).....	56

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evaluación de los resultados.....	70
Verificación de la hipótesis.....	72
Decisión.....	76

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones.....	77
Recomendaciones.....	78
Bibliografía.....	79
ANEXOS.....	81

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Central Termoeléctrica Quevedo, Ecuador	3
Figura 2. Árbol de problemas de investigación	5
Figura 3. Gráfica de correlación mantenimiento preventivo vs. disponibilidad..	75

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Sistemas del Motor HYUNDAI9H21/32.....	12
Tabla 2. Componentes del sistema de regulación y control.....	13
Tabla 3. Componentes del sistema de enfriamiento.....	14
Tabla 4. Componentes del sistema de inducción.....	14
Tabla 5. Componentes del sistema de lubricación.....	15
Tabla 6. Componentes del sistema de combustible.....	15
Tabla 7. Operacionalización de la Variable Independiente.....	16
Tabla 8. Operacionalización de la Variable Dependiente.....	17
Tabla 9. Tabla de recolección de información.....	18
Tabla 10. Procedimiento para obtención y análisis de datos.....	19
Tabla 11. Lista de verificación para evaluación de la organización de mantenimiento.....	23
Tabla 12. Lista de verificación para evaluación de la gestión del mantenimiento preventivo.....	26
Tabla 13. Lista de verificación para evaluación del personal de mantenimiento.....	30
Tabla 14. Lista de verificación para evaluación de la gestión de los recursos.....	32
Tabla 15. Evaluación global de la gestión de mantenimiento preventivo.....	36
Tabla 16. Escala de ponderación de mantenimiento.....	37
Tabla 17. Instructivo de calificación para instalaciones físicas (Pa=20).....	39
Tabla 18. Instructivo de calificación para equipos y herramientas (Pa=16).....	40
Tabla 19. Instructivo de calificación para personal de mantenimiento (Pa=14)..	40
Tabla 20. Instructivo de calificación de seguridad industrial (Pa=14).....	41
Tabla 21. Instructivo de calificación para atención interna (Pa=11).....	41
Tabla 22. Instructivo de calificación para control de gestión (Pa=10).....	42
Tabla 23. Instructivo de calificación para condiciones del ambiente de trabajo (Pa=9).....	42
Tabla 24. Instructivo de calificación para contaminación Ambiental (Pa=7).....	43
Tabla 25. Calificación de los diferentes departamentos de Mantenimiento.....	43
Tabla 26. Evaluación final del departamento de Mantenimiento.....	44
Tabla 27. Disponibilidad de los motores.....	47

Tabla 28. Sistemas constitutivos del Motor Hyundai 9H21/32	48
Tabla 29. Componentes Mantenimiento Programado.....	48
Tabla 30. Hoja de control B1.	51
Tabla 31. Hoja de control B2.	52
Tabla 32. Hoja de control B3.	53
Tabla 33. Hoja de control B4.	54
Tabla 34. Hoja de control B5.	55
Tabla 35. Gravedad del modo de fallo de los motores Hyundai 9H21/32.....	58
Tabla 36. Frecuencia del modo de fallo de los motores Hyundai 9H21/32.....	59
Tabla 37. Detección del modo de fallo de los motores Hyundai 9H21/32.	59
Tabla 38. Análisis Modal de Fallos y Efectos - AMEF 1.	61
Tabla 39. Análisis Modal de Fallos y Efectos - AMEF 2.	63
Tabla 40. Análisis Modal de Fallos y Efectos - AMEF 3.	64
Tabla 41. Análisis Modal de Fallos y Efectos - AMEF 4.	65
Tabla 42. Análisis Modal de Fallos y Efectos - AMEF 5.	66
Tabla 43. Análisis Modal de Fallos y Efectos - AMEF 5.	67
Tabla 44. Análisis Modal de Fallos y Efectos - AMEF 5.	68
Tabla 45. Resumen del AMEF del sistema de combustible.....	69
Tabla 46. Disponibilidad de los motores.....	73
Tabla 47. Coeficiente de correlación de Pearson y significado.	74
Tabla 48. Coeficiente de correlación de Pearson.	75
Tabla 49. Características del Motor Hyundai 9H21/32.....	82
Tabla 50. Especificaciones técnicas del Motor Hyundai 9H21/32	82

ANEXOS

ANEXO A: Fichas de Datos del Motor Hyundai 9H21/32.	82
ANEXO B: Norma NTP 679.....	89
ANEXO C: Clasificación de la Gravedad del Modo de Fallo.	90
ANEXO D: Clasificación de la Frecuencia/Probabilidad de Ocurrencia del Modo de Fallo.....	91
ANEXO E: Clasificación de la Facilidad de Detección del Modo de Fallo.	92
ANEXO F: Diagrama de Decisión Tipo de Mantenimiento.	93
ANEXO G: Sistemas de Mantenimiento.	94
ANEXO H: Gestión de Mantenimiento.	95
ANEXO I: Tipos de Pérdidas.....	96
ANEXO J: Registro de mantenimiento y disponibilidad en el período octubre 2016 – marzo 2017.....	97

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

TEMA: “Estudio de la Gestión de Mantenimiento Preventivo y la Disponibilidad de los motores Hyundai 9H21/32 de la Bahía 4 de la Central Termoeléctrica Quevedo”

Autor: Byron Alberto Muñoz Garcés

Tutor: Ing. Edwin Leonardo Sánchez Almeida, Mg.

RESUMEN EJECUTIVO

El presente estudio consiste en la evaluación de la gestión de mantenimiento preventivo y su incidencia en la disponibilidad de los motores Hyundai 9H21/32 de la Bahía 4 de la Central Termoeléctrica Quevedo, ubicada en la provincia de Los Ríos, con sustento en la aplicación de la norma del Comité Técnico de Normalización de la Comisión Venezolana de Normas Industriales COVENIN 2500-93, Área VIII p. 14. La investigación se orienta a la identificación de los parámetros que inciden en la disponibilidad de los motores a través de la realización de un Análisis Modal de Fallos y Efectos (AMFE) de cada uno de los componentes. La disponibilidad de los motores se determina a partir del tiempo total de operación, el tiempo de mantenimiento programado y por averías. Complementariamente, se realiza una evaluación del desempeño del departamento de mantenimiento de la empresa. El estudio determina que la gestión del mantenimiento preventivo es deficiente (68.9 %) y la disponibilidad de los motores de 0.958, que debe ser mejorada porque actualmente ocasiona que se presenten fallas que obligan a un mantenimiento circunstancial no programado. Con la finalidad de contribuir a la solución de la problemática se requieren aplicar acciones correctoras para los elementos con un número de prioridad de riesgo (NPR) mayor a 100.

Descriptor: AMFE, COVENIN 2500, Disponibilidad, Gestión de mantenimiento preventivo, NPR, Sistemas de motores.

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

THEME: “Preventive maintenance management study and its impact on the Hyundai 9H21/32 engines availability at Bahía 4 of the Quevedo Thermoelectric Power Plant”

Author: Byron Alberto Muñoz Garcés

Tutor: Eng. Edwin Leonardo Sánchez Almeida, Mg.

ABSTRACT

The present study consists of the evaluation of the preventive maintenance management and its impact on the Hyundai 9H21/32 engines availability at Bahía 4 of the Quevedo Thermoelectric Power Plant, located in Los Ríos province, with a support in the application of the Technical Committee for Standardization of the Venezuelan Commission for Industrial Standards COVENIN 2500-93, Area VIII p. 14. The research is based on the identification of the parameters that affect the engines availability, through the accomplishment of a Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) of each one of the components. The engines availability is determined by the total operating time and the scheduled maintenance time and by failures. In addition, an evaluation of the maintenance department performance of the Thermo Electric is carried out. The study states the preventive maintenance management is deficient (68.9 %) and the engines availability of 0.958, which should be improved because it currently causes failures that require an unscheduled circumstantial maintenance. In order to contribute to the solution of the problem it is necessary to apply corrective actions for the elements with a Risk Priority Number (NPR) greater than 100.

Descriptors: Availability, COVENIN 2500, Engine systems, FMEA, NPR, Preventive maintenance management.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Tema:

“Estudio de la gestión de mantenimiento preventivo y la disponibilidad de los motores Hyundai 9H21/32 de la Bahía 4 de la Central Termoeléctrica Quevedo”

Introducción

A nivel mundial, la gestión de mantenimiento es uno de los pilares más importantes dentro de las organizaciones e industrias, mucho más en plantas de generación de energía termoeléctrica, donde la producción de megavatios (MW) alcanza niveles elevados, como es el caso de la Central de Taichung ubicada en Longjing en Taiwán, la cual es la mayor central eléctrica de carbón del mundo, con una capacidad de producción de 5500 MW. (Periódico de la Energía, 2015, p. 3). En la mencionada planta las políticas de mantenimiento son tan importantes como las de producción; esto debido a que la parada imprevista de equipos representaría pérdidas exuberantes, tanto productivas como económicas. (Periódico de la Energía, 2015, p. 4).

Paralelamente, una parada inesperada en una central termoeléctrica repercutirá directamente en la operación de otras plantas alimentadas por esta energía. Por tal razón, las plantas de esta magnitud tienen implementados regímenes de control de mantenimiento basados en TPM (Mantenimiento Total Productivo), la cual es una filosofía orientada a mantener los equipos en disposición para producir a su capacidad máxima productos con la calidad y cantidad esperada.

La capacidad de los equipos de operar en condiciones normales y en el momento requerido ha dado lugar al término disponibilidad, a su vez, el mantenimiento preventivo es la base de toda acción ejecutada para asegurar esa capacidad de operación en condiciones normales.

Este contexto determina la necesidad de implementación de normativa para la gestión de los activos, que al mismo tiempo engloban a la gestión del mantenimiento, como es el caso de las normas ISO 55000 Gestión de Activos y BSI PAS 55 Gestión de Activos por el Instituto Británico de Normalización. Sin embargo, no se tiene conocimiento de que las mismas sean aplicadas en el sector energético de las centrales termoeléctricas.

Al referirse al caso de Sudamérica, en países como Perú y Colombia, se dispone de las centrales termoeléctricas más importantes. Efectivamente, la Planta Termoeléctrica de Chilca en Perú y la Central Térmica TEBSA en Colombia, son los ejemplos más representativos. (Tecnología Minera, 2015).

Las mencionadas industrias de producción de energía se basan en una metodología sistemática que busca asegurar que los equipos operen en óptimas condiciones y así poder definir las políticas de mantenimiento óptimas para garantizar el cumplimiento de los estándares requeridos para los procesos de generación, es decir se basan en el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM, por su siglas en inglés), la cual es una filosofía de mantenimiento donde a más de lo estipulado en el TPM, se incluye un análisis de criticidad, análisis modal de fallos y efectos (AMFE), aplicación de matrices de decisión, entre otros.

Como complemento a las herramientas antes mencionadas, está disponible normativa de evaluación de los sistemas de mantenimiento en la industria, como es el caso de las normas COVENIN 2500, que se podrían aplicar en beneficio de la gestión del mantenimiento preventivo en este tipo de centrales.

En el Ecuador, la Central Termoeléctrica Quevedo es una de las más representativas. No obstante, la gestión de mantenimiento en general y particularmente del tipo preventivo, no se encuentra regulada con base en la aplicación de una normativa ni de metodologías especializadas. En los últimos años se ha trabajado en la recopilación de la información necesaria para facilitar la implementación de este pilar fundamental dentro del desarrollo de las actividades de generación de energía. Esta situación refleja que la gestión se encuentra en una etapa de estudio y desarrollo. En la figura 1 se muestra una vista lateral de un motor de la Central Termoeléctrica Quevedo.



Figura 1. Central Termoeléctrica Quevedo, Ecuador

Fuente: www.celec.gob.ec

Como parte de los equipos más importantes dentro de la Central Termoeléctrica Quevedo, se tiene al motor Motor Hyundai 9H21/32, que dispone de algunos sistemas como: de regulación y control, enfriamiento, inducción o aspiración, lubricación y combustible.

Al adentrarse en la problemática, se tiene conocimiento que el mantenimiento preventivo de los sistemas de los motores Hyundai 9H21/32 no es controlado, por esta razón se establece que existe una mala gestión del mantenimiento preventivo y esto repercute en la baja disponibilidad actualmente existente.

Por otra parte, no se aplica una metodología para la identificación de los componentes críticos, por esta razón, comúnmente se presentan fallas y averías en los sistemas del motor Motor Hyundai 9H21/32.

Finalmente, la ausencia de una programación técnicamente establecida y que realmente se corresponda con el requerimiento y especificaciones de los equipos, también implica una deficiente gestión del mantenimiento preventivo, lo que ocasiona que se observen paradas imprevistas en los sistemas del motor Hyundai 9H21/32.

Al ser la energía un aspecto de vital importancia, urge la necesidad de que en el país y particularmente en la Central Termoeléctrica Quevedo, se realicen estudios enfocados en contribuir en la planificación de mantenimiento, para contribuir a la minimización o eliminación de las paradas imprevistas de máquinas y equipos.

Árbol de problemas

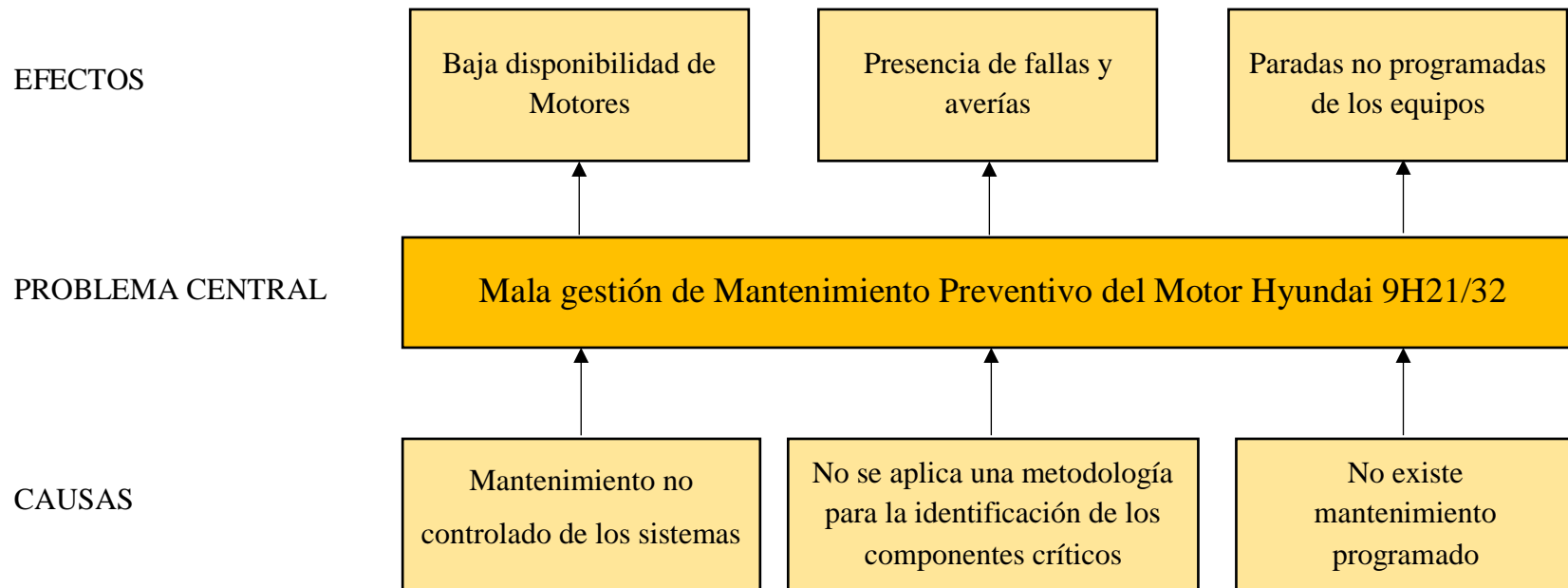


Figura 2. Árbol de problemas de investigación

Elaborado por: Byron Muñoz

Antecedentes

Mata Cabrera, Francisco.(2012). Investigador de la Universidad de Castilla-La Mancha, España, realizó un estudio de Mantenimiento de Centrales Térmicas, en el que concluye que para prolongar la vida productiva de una planta térmica se deben desarrollar los siguientes sistemas como parte del mantenimiento: control de la calidad del agua, control de la corrosión y vigilancia continua de la caldera, a los cuales consideró como críticos y necesarios de constante monitoreo para conseguir un rendimiento óptimo.

Sánchez, Óscar. (2012). Ingeniero de Mantenimiento de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), en su tesis “Gestión de mantenimiento computarizado en el grupo electrógeno Alco de la Central Termoeléctrica Lligua de la Empresa Eléctrica Ambato”, estableció que una vez definidos los parámetros que influyen directamente en la operatividad de la planta, es necesario contar con un Sistema Computarizado de Gestión de Mantenimiento (Software SGM Pro), el cual es un programa que permite generar documentos de gestión para ser realizados por los técnicos encargados, a partir de parámetros de entrada, como el tiempo de vida útil, establecidos por fabricantes o investigaciones previas. Una vez implementado dentro de la planta, el sistema permitió reducir significativamente tanto los costos de operación, como los de mantenimiento.

Gómez, Geovanny. (2011). Ingeniero Eléctrico, con mención en Gestión de Mantenimiento, por la Universidad Politécnica Salesiana, en su tesis “Propuesta para la Gestión de Mantenimiento de la Central Hidroeléctrica Ocaña”, adoptó en la planta el sistema de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), el cual optimiza la implementación del mantenimiento Preventivo, basado en la confiabilidad y datos de los fabricantes de los equipos; además la gestión de mantenimiento representa una importante herramienta de seguridad laboral, debido a que la mayoría de accidentes son

causados por desperfectos en los equipos, que pueden ser evitados con una inspección periódica.

Justificación

El presente estudio técnico es importante porque se orienta en la evaluación de la gestión del mantenimiento preventivo para conocer su incidencia en la disponibilidad de los motores Hyundai 9H21/32 de la Bahía 4 de la Central Termoeléctrica Quevedo. A través de la mencionada evaluación se valoran técnicamente los resultados de la gestión actual.

Las investigación genera un impacto positivo en el área de mantenimiento y por ende en el área productiva, debido a que permite conocer la disponibilidad de los sistemas y componentes de los motores Hyundai 9H21/32, del área de operación de la Central Termoeléctrica Quevedo, con lo cual a futuro se puede incrementar la disponibilidad, disminuir los costos de mantenimiento, hacer más eficientes las labores del recurso humano y maximizar la vida útil de cada uno de los componentes de los sistemas; además colaborar con la seguridad del personal e instalaciones de la planta.

De acuerdo a lo mencionado por el personal encargado de mantenimiento de la Central Térmica Quevedo, el sistema de gestión actual no es óptimo en función del requerimiento, debido a que se presentan fallas y averías, que provocan paradas no planificadas. Por esta razón, el presente estudio técnico ayuda a la identificación de los componentes críticos y causas raíz de las averías producidas, así como ofrece datos que sirven de referencia inicial. La utilidad se ve reflejada en el hecho que, gracias al apoyo de este trabajo se podrá elaborar posteriormente un nuevo sistema de gestión de mantenimiento preventivo, que permita facilitar la toma de decisiones con respecto a chequeos preestablecidos, para controlar adecuadamente la disponibilidad de los equipos y evitar paradas no programadas en el proceso de generación eléctrica.

El desarrollo del proyecto es económica, académica y técnicamente factible en consideración que se cuenta con la información suficiente, apoyo de la entidad beneficiaria y los conocimientos suficientes sobre gestión de mantenimiento; complementada con la disposición de los equipos y componentes en normal operación.

Los beneficiarios directos del presente proyecto son los supervisores, técnicos líderes, técnicos mecánicos y eléctricos, así como los operadores de la Central Termoeléctrica Quevedo, encargados del correcto desempeño y producción de energía. Además, se ven favorecidos los lectores que tienen interés por conocer acerca de la gestión de mantenimiento y disponibilidad de equipos, al igual que sirve de base para futuras investigaciones.

Objetivos

Objetivo General

Estudiar la gestión de mantenimiento preventivo y la disponibilidad de los motores Hyundai 9H21/32 de la Bahía 4 de la Central Termoeléctrica Quevedo.

Objetivos Específicos

- Evaluar la gestión del mantenimiento preventivo de acuerdo a la norma COVENIN 2500, para conocer el actual desempeño del mantenimiento de los sistemas de los motores Hyundai 9H21/32.
- Determinar la disponibilidad de los motores Hyundai 9H21/32 de la Central Termoeléctrica Quevedo, con base en las horas de operación y las paralizaciones por averías o programadas.

- Identificar los fallos potenciales de los motores Hyundai 9H21/32 mediante aplicación del Método AMFE establecido en la norma NTP 679, para conocer los factores asociados con la actual disponibilidad.

CAPÍTULO II METODOLOGÍA

Área de estudio

Dominio:	Tecnología y Sociedad
Línea de Investigación:	Empresarialidad y Productividad
Campo:	Ingeniería Industrial
Área:	Gestión del Mantenimiento Preventivo
Aspecto:	Disponibilidad
Objeto de estudio:	Gestión del Mantenimiento Preventivo y Disponibilidad
Período de análisis:	octubre 2016 – marzo 2017

Enfoque

El proyecto se basa en un enfoque cuantitativo, donde se lleva a cabo la observación y evaluación de la situación actual de la gestión de mantenimiento de los componentes del equipo en estudio y se establecen los parámetros de evaluación.

En el enfoque cuantitativo se utilizan métodos para la recolección de datos referentes a la frecuencia de fallos, a los tiempos de mantenimiento programado preventivo y por averías, a la disponibilidad de los motores, entre otros; mediante la utilización de matrices normalizadas que permiten establecer criterios, para conocer y evaluar los parámetros que inciden en la gestión de mantenimiento.

Mientras que el enfoque cualitativo se centra en la recolección de datos sin medición numérica, la que es utilizada para descripción e interpretación de los datos recolectados y procesados.

Justificación de la metodología

La evaluación de la gestión del mantenimiento preventivo tiene correspondencia con la aplicación de la norma COVENIN 2500 (1993) en la que se definen los parámetros de interés a través de 5 deméritos, cada uno de los cuales debe tener una puntuación. Al mismo tiempo, se establecen los criterios para la planificación (2 deméritos), para la programación e implantación (5 deméritos) y para el control y evaluación (4 deméritos). La puntuación máxima posible es de 250. Para la calificación el técnico investigador debe acudir al lugar de los hechos y aplicar una lista de verificación en la que se va asignando una puntuación para cada ítem.

Por otra parte, la disponibilidad se calcula mediante la aplicación de una fórmula, que considera la relación entre el tiempo total de operación (HROP) de los motores de la Central y la sumatoria del mismo tiempo más el tiempo total de mantenimiento (HTMN) (mantenimiento preventivo por tiempo o por estado, mantenimiento correctivo y por averías) (Tavares 2006, p. 54).

El proyecto técnico se complementa con el análisis de inventarios, Tablas descriptivas de funcionamiento, averías y daños presentes, fichas técnicas, codificación de componentes, hojas de control, matrices con parámetros de calificación numérica; para posteriormente efectuar el análisis comparativo de las características actuales del mantenimiento preventivo actual. Todo esto con el sustento en la aplicación del método del Análisis Modal de Fallos y Efectos (AMFE), que se desarrolla en la norma NTP 679.

Con el objeto de establecer la relación existente entre la gestión del mantenimiento preventivo y la disponibilidad de los motores Hyundai Hyundai 9H21/32 de la Central Termoeléctrica Quevedo, se debe trabajar con un estadístico de prueba de hipótesis. En el caso de la disponibilidad se obtienen un valor adimensional que

corresponde a una variable numérica, cuyos valores se obtienen a partir de los registros de las horas de mantenimiento por averías y del mantenimiento programado. Por consiguiente, corresponde considerar una medición de la gestión de mantenimiento preventivo en horas, además de los registros antes mencionados se conoce el tiempo de mantenimiento programado que es correctivo o preventivo.

En este sentido, la investigación es de tipo Correlacional, debido a que se busca asociar las variables gestión de mantenimiento preventivo y disponibilidad de los motores Hyundai 9H21/32 de la Central Termoeléctrica Quevedo. Se emplea la Correlación de Pearson como el estadístico de prueba de hipótesis, dado que ambas variables son numéricas y los datos son independientes.

Población y muestra

En el estudio la población estará conformada por las 12 unidades de generación de energía (Motores Hyundai 9H21/32) de la Central Termoeléctrica Quevedo.

Se ha optado por considerar cada uno de sus sistemas y componentes por separado detallados en las Tablas 1 y 2 para facilitar su estudio y posterior análisis, además su desarrollo es netamente técnico y la muestra es igual a la población por ser una cantidad manejable en su totalidad, por lo que no será necesario aplicar fórmulas probabilísticas. La Tabla 1 muestra los 5 tipos de sistemas del motor Hyundai 9H21/32

Tabla 1. Sistemas del Motor HYUNDAI9H21/32.

NÚMERO	SISTEMA
1	Sistema de regulación y control
2	Sistema de enfriamiento
3	Sistema de inducción
4	Sistema de lubricación
5	Sistema de combustible

Fuente: Manual de Operación Motor Hyundai 9H21/32

Elaborado por: Byron Muñoz

La Tabla 2 muestra una lista de cada uno de los sistemas de regulación y control.

Tabla 2. Componentes del sistema de regulación y control.

SISTEMA DE REGULACIÓN Y CONTROL	
No.	COMPONENTE
1	Sensor de alzada de la aguja de inyección
2	Sensor de rpm
3	Caudalímetro
4	Sensor de temperatura del motor
5	Sensor de temperatura en el colector de admisión
6	Contacto del pedal del embrague
7	Contacto del freno
8	Contacto del pedal del freno
9	Sensor de posición del pedal del acelerador
10	Sensor de posición del regulador de caudal de inyección
11	Sensor temperatura de combustible
12	Bujías de incandescencia
13	Electroválvula de control de retroalimentación de gases de escape
14	Electroválvula de control de la presión turbo
15	Motor regulador del caudal de inyección
16	Electroválvula de STOP
17	Electroválvula del variador de avance
18	Sensor de la presión turbo

Fuente: Manual de Operación Motor Hyundai 9H21/32

Elaborado por: Byron Muñoz

El sistema de regulación y control está conformado por un motor regulador de caudal, sensores, contactos, electroválvulas, bujías y un caudalímetro. Este sistema se encarga de regular y controlar magnitudes físicas como la temperatura, presión, velocidad y caudal dentro del motor Hyundai 9H21/32.

La Tabla 3 muestra una lista de los componentes del sistema de enfriamiento.

Tabla 3. Componentes del sistema de enfriamiento.

SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	
No.	COMPONENTE
1	Bomba de refrigerante
2	Hélice
3	Tanque de reserva del refrigerante
4	Tapas del tanque de reserva
5	Camisas de agua
6	Radiador
7	Válvula termostato
8	Embrague del ventilador

Fuente: Manual de Operación Motor Hyundai 9H21/32

Elaborado por: Byron Muñoz

El sistema de enfriamiento se encarga de contribuir en la regulación de la temperatura a través de un fluido refrigerante. Se compone de varios elementos que permiten la circulación del refrigerante. La Tabla 4 muestra una lista componentes del sistema de inducción

Tabla 4. Componentes del sistema de inducción.

SISTEMA DE INDUCCIÓN	
No.	COMPONENTE
1	Unidad de control
2	Filtro de aire
3	Turbo cargador
4	Enfriador de aire
5	Bomba de aire secundario
6	Sonda ante catalizador
7	Catalizador

Fuente: Manual de Operación Motor Hyundai 9H21/32

Elaborado por: Byron Muñoz

El sistema de inducción está conformado por una unidad de control, un filtro de aire, un turbo cargador, un enfriador de aire, una bomba de aire secundario, una

sonda anti catalizadora y un catalizador. La Tabla 5 muestra una lista de componentes del sistema de lubricación

Tabla 5. Componentes del sistema de lubricación.

SISTEMA DE LUBRICACIÓN	
No.	COMPONENTE
1	Bomba de pre lubricación
2	Bomba de lubricación
3	Enfriador de aceite
4	Válvula termostato
5	Válvula de regulación de presión
6	Filtro de aceite
7	Tanque de suministro
8	Separador de aceite (Purificador)
9	Filtro de succión
10	Bomba del separador
11	Calentador para el separador
12	Ventilador

Fuente: Manual de Operación Motor Hyundai 9H21/32

Elaborado por: Byron Muñoz

El sistema de lubricación es el encargado de permitir la circulación del aceite en el motor Hyundai 9H21/32 para lubricar las diferentes partes del mismo. La Tabla 6 muestra una lista de componentes del sistema de alimentación de combustible.

Tabla 6. Componentes del sistema de combustible.

SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE COMBUSTIBLE	
No.	COMPONENTE
1	Depósito combustible
2	Bomba de inyección
3	Bloque de conexión
4	Tubería de inyección
5	Válvula de inyección
6	Gobernador

Fuente: Manual de Operación Motor Hyundai 9H21/32

Elaborado por: Byron Muñoz

El sistema de alimentación combustible tiene la función de permitir el suministro de combustible para el funcionamiento del motor.

Diseño del trabajo

Variable Independiente: Gestión de Mantenimiento Preventivo

Tabla 7. Operacionalización de la Variable Independiente.

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Interrogantes de Investigación	Técnicas e Instrumentos
La Gestión de mantenimiento es el <u>conjunto de actividades</u> enfocadas en coordinar, dirigir y organizar los <u>recursos</u> materiales, humanos y flujos de información destinados al correcto <u>funcionamiento</u> , reparación y prolongación de la vida útil de los equipos disponibles.	<p>Conjunto de actividades</p> <p>Funcionamiento</p>	<p>Planes y registros de mantenimiento.</p> <p>Fallas y paradas no programadas.</p>	<p>¿Posee la empresa datos históricos de mantenimiento de equipos?</p> <p>¿Tiene la empresa un plan de mantenimiento preventivo?</p> <p>¿Considera que las políticas de mantenimiento actuales son las adecuadas?</p> <p>¿Cree que la planificación de mantenimiento beneficiará a la optimización de recursos de la empresa?</p>	<p>Técnica: Observación directa.</p> <p>Instrumento: Lista de verificación.- Norma COVENIN 2500</p>

Elaborado por: Byron Muñoz

Variable Dependiente: Disponibilidad de los Motores Hyundai 9H21/32

Tabla 8. Operacionalización de la Variable Dependiente.

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Interrogantes de Investigación	Técnicas e Instrumentos
<p>Es la capacidad de un componente para estar en un <u>estado óptimo</u> para realizar una función requerida bajo condiciones dadas durante un determinado intervalo de tiempo, asumiendo que la gestión de mantenimiento y los recursos externos necesarios se han proporcionado, minimizando los <u>tiempos de reparación</u>.</p>	<p>Tiempo de estado óptimo</p> <p>Tiempo de reparación</p>	<p>Tiempo de operación óptima.</p> <p>Tiempo de intervención en mantenimiento</p>	<p>¿Qué tiempo de disponibilidad posee los motores anualmente?</p> <p>¿Cuáles son los recursos consumidos en el mantenimiento?</p> <p>¿Cuál es el costo anual del mantenimiento preventivo?</p> <p>¿Qué tasas de fiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad poseen los equipos?</p>	<p>Técnica: Observación directa.</p> <p>Instrumento: Registros de horas de operación y de paralizaciones- AMFE: Norma NTP 679</p>

Elaborado por: Byron Muñoz

Procedimientos para obtención y análisis de datos

La obtención de los datos se realiza en conformidad con los parámetros establecidos en la Operacionalización de variables. Para el efecto se parte de preguntas básicas, que permiten definir como se debe proceder a recolectar la información y a través de qué técnicas e instrumentos, como se muestra en la Tabla 9, presentada a continuación:

Tabla 9. Tabla de recolección de información.

PREGUNTAS BÁSICAS	EXPLICACIÓN
1. ¿Para qué?	Para cumplir con los objetivos de la Investigación.
2. ¿De qué personas u objetos?	Unidades de generación de energía (Motores Hyundai 9H21/32).
3. ¿Sobre qué aspecto?	Mantenimiento Preventivo, disponibilidad de las unidades de generación.
4. ¿Quién, quiénes?	Investigador.
5. ¿Cuándo?	Octubre 2016 – Marzo 2017
6. ¿Dónde?	Bahía 4 de la Central Termoeléctrica Quevedo.
7. ¿Cuántas veces?	Las necesarias y suficientes.
8. ¿Qué técnicas de recolección?	Observación.
9. ¿Con qué?	Lista de verificación: Norma COVENIN 2500 Hojas de registro de horas de operación y de paralizaciones Fichas de Evaluación AMFE: NTP 679
10. ¿En qué situación?	En situación normal de generación de energía.

Elaborado por: Byron Muñoz

Se realiza la acumulación de la información referente al tema de estudio, mediante la revisión bibliográfica, la cual proporciona información secundaria, es decir proveniente de normas, artículos técnicos relacionados con la investigación, para servir de guía para el estudio de campo, cuyo objeto es evaluar la gestión del

mantenimiento y los datos históricos de las unidades de generación de energía de la Central Termoeléctrica Quevedo, a través de una visita técnica para observar directamente el problema a solucionar. Una vez recolectada la información primaria y secundaria, se procederá a clasificarla y organizarla en matrices comparativas para facilitar su interpretación y posterior utilidad que se le pueda dar.

El análisis de la información recolectada será realizado desde un enfoque de gestión de mantenimiento, estableciendo las condiciones óptimas con las que deben cumplir las unidades de generación de energía, sostenidos en la información recolectada, relacionando así las variables del proyecto, para establecer conclusiones y recomendaciones. A continuación, se muestra un proceso tentativo para la recolección y procesamiento de datos, cabe recalcar que en el proceso de su desarrollo puede ser modificado en función de las necesidades. La Tabla 10 muestra una lista de procesos con su diferente descripción:

Tabla 10. Procedimiento para obtención y análisis de datos.

PROCESO	DESCRIPCIÓN
1	Recolectar información primaria y secundaria
2	Clasificar y organizar la información recolectada
3	Interpretar hojas de control y reportes diarios
4	Identificar principales fallas y averías
5	Elaborar fichas de calificación del departamento de mantenimiento
6	Desarrollar un inventario de componentes instalados y en stock
7	Desarrollar fichas técnicas de los componentes
8	Codificar unidades de generación y componentes
9	Elaborar fichas de tiempos de vida útil
10	Establecer nuevas hojas de control
11	Desarrollar el Análisis modal de fallos
12	Desarrollar la matriz de mantenimiento preventivo

Elaborado por: Byron Muñoz

Hipótesis

El tiempo programado de mantenimiento preventivo incide en la disponibilidad de los motores Hyundai 9H21/32 de la Bahía 4 de la Central Termoeléctrica Quevedo.

Formulación de la Hipótesis

H_0 : El tiempo programado de mantenimiento preventivo no incide en la disponibilidad de los motores Hyundai 9H21/32 de la Bahía 4 de la Central Termoeléctrica Quevedo.

H_1 : El tiempo programado de mantenimiento preventivo incide en la disponibilidad de los motores Hyundai 9H21/32 de la Bahía 4 de la Central Termoeléctrica Quevedo.

CAPÍTULO III

DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

Análisis de la situación actual

El estudio realizado con relación a la gestión del mantenimiento preventivo y la disponibilidad tiene como unidades de estudio a los motores Hyundai 9H21/32. En cuanto a la evaluación de la gestión del mantenimiento preventivo, se aplica la Norma COVENIN 2500 (Comité Técnico de Normalización de la Comisión Venezolana de Normas Industriales 1993). La norma se enfoca en evaluar los sistemas de mantenimiento en la industria a través de áreas o factores de interés como parte de una gestión integral.

En el presente caso, la investigación se centra en el mantenimiento preventivo, por consiguiente, corresponde la aplicación de las cuatro áreas siguientes:

- Área II: Organización de Mantenimiento.
- Área VIII: Mantenimiento Preventivo.
- Área X: Personal de mantenimiento.
- Área XII: Recursos.

Cada una de las áreas está divididas en criterios de cumplimiento, que se definen a través de un principio básico. Al mismo tiempo, con el fin de evaluar y calificar la conformidad con lo estipulado en la norma, se encuentran establecidos algunos deméritos, los cuales restan puntos de la calificación general de cada criterio. En el presente caso se elaboran lista de verificación de cada área para la evaluación.

En las Tablas 11, 12, 13 y 14 se presentan los criterios de evaluación y la calificación máxima de cada uno de los principios básicos. Posteriormente, en la primera columna de la izquierda se enuncian los deméritos o no conformidades, en la columna intermedia se colocan las calificaciones mínimas que corresponden a las no conformidades (incidencia del demérito), éstas poseen un valor negativo (-3, -5, -10, -15, -20 o -30, según el caso) porque restan de la calificación máxima del criterio evaluador; en la columna de la derecha en cambio la calificación es de 0 (que implica conformidad). Una vez que se van verificando las conformidades se asigna la calificación negativa (que va resaltada con color verde) en caso de no conformidad, mientras que en caso de conformidad se resalta de color verde la casilla con valor de 0. Luego se suman los valores marcados en color verde y el resultado se resta de la calificación máxima del criterio de evaluación del área (II, VIII, X o XII). Finalmente, se suman las calificaciones de cada criterio evaluado y se obtiene la calificación global de la gestión del área, en concordancia con la Norma COVENIN 2500-93.

Lista de verificación de la gestión de mantenimiento

Área: Organización de Mantenimiento

La Tabla 11 muestra la lista de verificación para evaluación de la organización de mantenimiento preventivo basado en la norma COVENIN 25000-93. La gestión de esta área se divide en tres criterios de evaluación, conforme se detalla a continuación:

- Funciones y responsabilidades
- Autoridad y autonomía
- Sistema de información.

Tabla 11. Lista de verificación para evaluación de la organización de mantenimiento.

LISTA DE VERIFICACIÓN COVENIN 2500-93		
Criterio de Evaluación de la Organización de mantenimiento	Puntuación mínima	Puntuación máxima
1. Funciones y responsabilidades		
<p>Principio básico. La función mantenimiento está bien definida y ubicada dentro de la organización y posee un organigrama para este departamento. Se tienen por escrito las diferentes funciones y responsabilidades para los diferentes componentes dentro de la organización de mantenimiento. Los recursos asignados son adecuados, a fin de que la función pueda cumplir con los objetivos planteados.</p>		80
1.1 La empresa no tiene organigramas acorde a su estructura o no están actualizados para la organización de mantenimiento.	-15	0
1.2 La organización de mantenimiento, no está acorde con el tamaño del Sistema Productivo, tipo de objetos a mantener, tipo de personal, tipo de proceso, distribución geográfica, u otro.	-15	0
1.3 La unidad de mantenimiento no se presenta en el organigrama general, independientemente del departamento de producción.	-15	0
1.4 Las funciones y la correspondiente asignación de responsabilidades no están definidas por escrito o no están claramente definidas dentro de la unidad.	-10	0
1.5 La asignación de funciones y responsabilidades no llegan hasta el último nivel supervisor necesario, para el logro de los objetivos deseados.	-10	0
1.6 La empresa no cuenta con el personal suficiente tanto en cantidad como en calificación, para cubrir las actividades de mantenimiento.	-15	0
Puntuación obtenida		55
2. Autoridad y autonomía		
<p>Principio básico. Las personas asignadas para el cumplimiento de las funciones y responsabilidades cuentan con el apoyo de la gerencia y poseen la suficiente autoridad y autonomía para el desarrollo y cumplimiento de las funciones y responsabilidades establecidas.</p>		50
2.1 La unidad de mantenimiento no posee claramente definidas las líneas de autoridad.	-15	0
2.2 El personal asignado a mantenimiento no tiene pleno conocimiento de sus funciones.	-15	0
2.3 Se presentan solapamientos y/o duplicidad en las funciones asignadas a cada componente estructural de la organización de mantenimiento.	-10	0
2.4 Los problemas de carácter rutinario no pueden ser resueltos sin consulta a niveles superiores.	-10	0
Puntuación obtenida		30

LISTA DE VERIFICACIÓN COVENIN 2500-93		
Criterio de Evaluación de la Organización de mantenimiento	Puntuación mínima	Puntuación máxima
3. Sistema de información		
Principio básico. La organización de mantenimiento posee un sistema que le permite manejar óptimamente toda la información referente a mantenimiento (registro de fallas, programación de mantenimiento, estadísticas, costos, información sobre equipos u otra).		70
3.1 La organización de mantenimiento no cuenta con un flujograma para su sistema de información donde estén claramente definidos los componentes estructurales involucrados en la toma de decisiones.	-15	0
3.2 La organización de mantenimiento no dispone de los medios para el procesamiento de la información de las diferentes secciones o unidades en base a los resultados que se desean obtener.	-15	0
3.3 La organización de mantenimiento no cuenta con mecanismos para evitar que se introduzca información errada o incompleta en el sistema de información.	-10	0
3.4 La organización de mantenimiento no cuenta con un archivo ordenado y jerarquizado técnicamente.	-10	0
3.5 No existen procedimientos normalizados (formatos) para llevar y comunicar la información entre las diferentes secciones o unidades, así como su almacenamiento (archivo) para su cabal recuperación.	-10	0
3.6 La organización de mantenimiento no dispone de los mecanismos para que la información recopilada y procesada llegue a las personas que deben manejarla.	-10	0
Puntuación obtenida		60
TOTAL	145	200

Fuente: (Comité Técnico de Normalización de COVENIN 1993, p. 6-7)

Elaborado por: Byron Muñoz

La calificación total de la organización de mantenimiento es de 145 sobre 200, o lo que es lo mismo el 72.5 % de la calificación máxima. El resultado de la evaluación de la gestión de la organización del mantenimiento indica que la empresa está cumpliendo parcialmente con los parámetros establecidos por la norma COVENIN 2500. El criterio de evaluación más crítico corresponde a la autoridad y autonomía, debido a que se suelen presentar duplicidad en las funciones asignadas a cada componente de la organización de mantenimiento y por causa del excesivo formalismo a la hora de intervenir con fines de mantenimiento, los problemas de carácter rutinario no pueden ser resueltos sin consulta a niveles superiores.

Área: Mantenimiento Preventivo

La Tabla 12 muestra la lista de verificación para evaluación de la gestión de mantenimiento preventivo basado en la norma COVENIN 25000-93. La gestión de esta área se divide en cuatro criterios de evaluación, conforme se detalla a continuación:

1. Determinación de parámetros, este tiene una calificación máxima de 80 y consta de cinco deméritos que restan puntos de la calificación máxima (solo en caso de que se presente la no conformidad con la norma). Los tres primeros deméritos tienen un valor de -20 cada uno, mientras que los deméritos 4 y 5 se califican con -10 cada uno. En caso de conformidad no se restan los valores indicados (es decir se considera como 0).
2. Planificación, con una calificación máxima de 40, posee dos deméritos que restan de la calificación máxima (solo en caso de que se presente la no conformidad con la norma). Ambos deméritos se miden como -20. Obviamente cuando no se presentan no conformidades, equivale a 0 (no se resta de la calificación máxima).
3. Programación e implementación, tiene una calificación máxima de 70, consta de cinco deméritos, El primer demérito equivale a -20, el segundo y tercero a -15, mientras el cuarto y quinto a -10. Estos valores se restan de la calificación máxima del principio básico en caso de no conformidad, caso contrario vale 0 para el demérito correspondiente.
4. Control y evaluación, tiene una calificación de 60, posee cuatro deméritos, los dos primeros valen -15 en caso de no conformidad, el tercero -10 y el cuarto -20. Se aplica el mismo criterio de calificación de los numerales anteriores.

A continuación se presenta el desarrollo de la evaluación correspondiente al mantenimiento preventivo de los 12 motores Hyundai 9H21/32.

Tabla 12. Lista de verificación para evaluación de la gestión del mantenimiento preventivo.

LISTA DE VERIFICACIÓN COVENIN 2500-93		
Criterio de Evaluación del Mantenimiento Preventivo	Puntuación mínima	Puntuación máxima
1. Determinación de parámetros		
<p>Principio básico. La organización tiene establecido por objetivo lograr efectividad del sistema asegurando la disponibilidad de objetos de mantenimiento mediante el estudio de confiabilidad y mantenibilidad. La organización dispone de todos los recursos para determinar la frecuencia de inspecciones, revisiones y sustituciones de piezas aplicando incluso métodos estadísticos, mediante la determinación de los tiempos entre fallas y los tiempos de paradas.</p>		80
1.1 La organización no cuenta con el apoyo de los diferentes recursos de la empresa para la determinación de los parámetros de mantenimiento.	-20	0
1.2 La organización no cuenta con estudios que permitan determinar la confiabilidad y mantenibilidad de los objetos de mantenimiento.	-20	0
1.3 No se tienen estudios estadísticos para determinar la frecuencia de las revisiones y sustituciones de piezas claves.	-20	0
1.4 No se llevan registros con los datos necesarios para determinar los tiempos de parada y los tiempos entre fallas.	-10	0
1.5 El personal de la organización de mantenimiento no está capacitado para realizar estas mediciones de tiempos de paradas y entre fallas.	-10	0
Puntuación obtenida		60
2. Planificación		
<p>Principio básico. La organización dispone de un estudio previo que le permita conocer los objetos que requieren mantenimiento preventivo. Se cuenta con una infraestructura de apoyo para realizar mantenimiento preventivo.</p>		40
2.1 No existe una clara delimitación entre los sistemas que forman parte de los programas de mantenimiento preventivo de aquellos que permanecerán en régimen inmodificable hasta su desincorporación, sustitución o reparación preventiva.	-20	0
2.2 La organización no cuenta con fichas o tarjetas normalizadas donde se recoja la información técnica básica de cada objeto de mantenimiento inventariado.	-20	0
Puntuación obtenida		20

LISTA DE VERIFICACIÓN COVENIN 2500-93		
Criterio de Evaluación del Mantenimiento Preventivo	Puntuación mínima	Puntuación máxima
3. Programación e implementación		
<p>Principio básico. Las actividades de mantenimiento preventivo están programadas en forma racional, de manera que el sistema posea la elasticidad necesaria para llevar a cabo las acciones en el momento conveniente, no interferir con las actividades de producción y disponer del tiempo suficiente para los ajustes que requiere la programación. La implantación de los programas de mantenimiento preventivo se realiza en forma progresiva.</p>		70
3.1 Las frecuencias de las acciones de mantenimiento preventivo no están asignadas a un día específico en los periodos de tiempo correspondiente.	-20	0
3.2 Las órdenes de trabajo no se emiten con la suficiente antelación a fin de que los encargados de la ejecución de las acciones de mantenimientos puedan planificar sus actividades.	-15	0
3.3 Las actividades de mantenimiento preventivo están programadas durante todas las semanas del año, impidiendo que exista holgura para el ajuste de la programación	-15	0
3.4 No existe apoyo hacia la organización que permita la implantación progresiva del programa de mantenimiento preventivo.	-10	0
3.5 Los planes y políticas para la programación de mantenimiento preventivo no se ajustan a la realidad de la empresa, debido al estudio de las fallas realizado.	-10	0
Puntuación obtenida		35
4. Control y evaluación		
<p>Principio básico. En la organización existen recursos necesarios para el control de la ejecución de las acciones de mantenimiento preventivo.</p>		60
4.1 No existe un seguimiento desde la generación de las instrucciones técnicas de mantenimiento hasta su ejecución.	-15	0
4.2 No existen los mecanismos idóneos para medir la eficiencia de los resultados a obtener en el mantenimiento preventivo.	-15	0
4.3 La organización no cuenta con fichas o tarjetas donde se recoge la información básica de cada equipo inventariado.	-10	0
4.4 La recopilación de información no permite la evaluación del mantenimiento preventivo basado en los recursos utilizados y su incidencia en el sistema, así como la composición con los demás tipos de mantenimiento.	-20	0
Puntuación obtenida		30
TOTAL	145	250

Fuente: (Comité Técnico de Normalización de COVENIN 1993, p. 14-15)

Elaborado por: Byron Muñoz

La calificación total de la gestión de mantenimiento preventivo es de 145 sobre 250, o lo que es lo mismo el 58 % de la calificación máxima esperada. El resultado de la evaluación de la gestión del mantenimiento preventivo indica que la empresa no está cumpliendo con los parámetros establecidos por la norma COVENIN 2500. Esto significa que la gestión es deficiente.

Al identificar las razones para las calificaciones asignadas se deben hacer las siguientes precisiones:

En el caso del primer criterio de evaluación, que corresponde a la determinación de parámetros de gestión, se evidencia que se presenta el demérito 1.3. Esto se explica porque actualmente la frecuencia de revisiones e inspección de los componentes de los motores se ha establecido empíricamente, con base en la experiencia, pero sin considerar la vida útil, las especificaciones del fabricante, entre otros aspectos. En cuanto a los parámetros que se cumplen satisfactoriamente se tienen estudios de confiabilidad de los componentes, se dispone de registros de mantenimiento y el personal que labora en el área de mantenimiento tiene un perfil de competencias acorde a la responsabilidad asignada.

El segundo criterio de evaluación, planificación, el demérito encontrado (2.1) corresponde a la carencia de una delimitación entre los sistemas que forman parte del mantenimiento preventivo, esto es debido a una deficiente coordinación entre las áreas de trabajo, tampoco se tiene buena capacidad de respuesta ante las fallas presentadas, porque no se cuenta con un estudio técnico del nivel de prioridad de riesgo de falla de los componentes de los motores. No obstante, es destacable el hecho de que en la empresa se dispone de tarjetas etiquetadas y registros de las tareas realizadas como parte del mantenimiento.

El tercer criterio de evaluación, programación e implementación, en este sentido se presentan los deméritos 3.2, 3.4 y 3.5. La explicación obedece a que aunque existen órdenes de trabajo, éstas no son emitidas con anticipación y no permiten que sean el referente para la programación de las actividades. Por otra parte, no se recibe el apoyo oportuno de parte de todos los colaboradores de las diferentes áreas y se

carece de un estudio técnico de fallas para conocer el número de prioridad de riesgo (NPR), lo que no contribuye a una intervención eficiente de mantenimiento preventivo y peor aún en caso de fallas inesperadas. Sin embargo, es destacable el hecho de que las tareas de mantenimiento preventivo cuentan con fechas establecidas y no están asignadas para todas las semanas del año, es decir existe una holgura, que contribuye a atender las emergencias suscitadas.

El cuarto criterio de evaluación, control y evaluación, los deméritos 4.1 y 4.2 están presentes, actualmente no se comprueba que se cumplan las instrucciones técnicas y el manual de procedimientos de trabajo. Al mismo tiempo, no se cuenta con una valoración real de la eficiencia de los resultados, específicamente al referirse a la identificación de los equipos críticos de los sistemas de los motores y a la medición de la disponibilidad. En cuanto a los aspectos de cumplimiento se puede mencionar que la organización cuenta con tarjetas de etiquetado que recoge la información básica de cada equipo y además se dispone de registros de información de las tareas realizadas como parte de las tareas de mantenimiento.

Área: Personal de mantenimiento

La Tabla 13 presenta la lista de verificación para la evaluación del personal de mantenimiento preventivo basado en la norma COVENIN 25000-93. La gestión de esta área se divide en tres criterios de evaluación, conforme se detalla a continuación:

- Cuantificación de las necesidades del personal
- Selección y formación
- Motivación e incentivos.

Tabla 13. Lista de verificación para evaluación del personal de mantenimiento.

LISTA DE VERIFICACIÓN COVENIN 2500-93		
Criterio de Evaluación del Personal de mantenimiento	Puntuación mínima	Puntuación máxima
1. Cuantificación de las necesidades del personal		
<p>Principio básico. La organización, a través de la programación de las actividades de mantenimiento, determina el número óptimo de personas que se requieren en la organización de mantenimiento para el cumplimiento de los objetivos propuestos.</p>		70
1.1 No se hace uso de los datos que proporcionan el proceso de cuantificación del personal.	-30	0
1.2 La cuantificación de personal no es óptima y en ningún caso ajustado a la realidad de la empresa.	-20	0
1.3 La organización de mantenimiento no cuenta con formatos donde se especifique, el tipo y número de ejecutores de mantenimiento por tipo de frecuencia, tipo de mantenimiento y para cada semana de programación.	-20	0
Puntuación obtenida		50
2. Selección y formación		
<p>Principio básico. La organización selecciona su personal atendiendo a la descripción escrita de los puestos de trabajo (experiencia mínima, educación, habilidades, responsabilidades u otra). Se tienen establecidos programas permanentes de formación y actualización del personal, para mejorar sus capacidades y conocimientos.</p>		80
2.1 La selección no se realiza de acuerdo a las características del trabajo a realizar: educación, experiencia, conocimiento, habilidades, destrezas y actitudes personales en los candidatos.	-10	0
2.2 No se tienen procedimientos para la selección del personal con alta calificación y experiencia que requieren la credencial del servicio determinado.	-10	0
2.3 No se tienen establecidos períodos de adaptación del personal.	-10	0
2.4 No se cuenta con programas permanentes de formación del personal que permitan mejorar sus capacidades, conocimientos y la difusión de nuevas técnicas.	-10	0
2.5 Los cargos en la organización de mantenimiento no se tienen por escrito.	-10	0
2.6 La descripción del cargo no es conocida plenamente por el personal.	-10	0
2.7 La ocupación de cargos vacantes no se da con promoción interna.	-10	0
2.8 Para la selección de cargos no se toman en cuenta las necesidades derivadas de la cuantificación del personal.	-10	0
Puntuación obtenida		60

LISTA DE VERIFICACIÓN COVENIN 2500-93		
Criterio de Evaluación del Personal de mantenimiento	Puntuación mínima	Puntuación máxima
3. Motivación e incentivos		
<p>Principio básico. La dirección de la empresa tiene conocimiento de la importancia del mantenimiento y su influencia sobre la calidad y la producción, emprendiendo acciones y campañas para transmitir esta importancia al personal. Existen mecanismos de incentivos para mantener el interés y elevar el nivel de responsabilidad del personal en el desarrollo de sus funciones. La organización de mantenimiento posee un sistema de evaluación periódica del trabajador, para fines de ascensos o aumentos salariales.</p>		50
3.1 El personal no da la suficiente importancia a los efectos positivos con que incide el mantenimiento para el logro de las metas de calidad y producción.	-20	0
3.2 No existe evaluación periódica del trabajo para fines de ascensos o aumentos salariales.	-10	0
3.3 La empresa no otorga incentivos o estímulos basados en la puntualidad, en la asistencia al trabajo, calidad del trabajo, iniciativa, sugerencias para mejorar el desarrollo de la actividad de mantenimiento.	-10	0
3.4 No se estimula al personal con cursos que aumenten su capacidad y por ende su situación dentro del sistema.	-10	0
Puntuación obtenida		40
TOTAL	150	200

Fuente: (Comité Técnico de Normalización de COVENIN 1993, p. 19-20)

Elaborado por: Byron Muñoz

La calificación total de la gestión del personal de mantenimiento es de 150 sobre 200, o lo que es lo mismo el 75 % de la calificación máxima. El resultado indica que la empresa está cumpliendo parcialmente con los parámetros establecidos por la norma COVENIN 2500. No obstante, el criterio denominado Cuantificación de las necesidades del personal tiene una calificación bajo la media, debido a que la cuantificación de personal no es óptima y en ningún caso ajustado a la realidad de la empresa, este problema es causado porque la contratación del personal se realiza a través de un proceso programado con antelación y no es flexible con el requerimiento.

Área: Recursos

La Tabla 14 presenta la lista de verificación para la evaluación de los recursos disponibles en el mantenimiento preventivo, basado en la norma COVENIN 25000-93. La gestión de esta área se divide en cinco criterios de evaluación, conforme se detalla a continuación:

- Equipos
- Herramientas
- Instrumentos
- Materiales
- Repuestos

Tabla 14. Lista de verificación para evaluación de la gestión de los recursos.

LISTA DE VERIFICACIÓN COVENIN 2500-93		
Criterio de Evaluación de Recursos	Puntuación mínima	Puntuación máxima
1. Equipos		
Principio básico. La organización de mantenimiento posee los equipos adecuados para llevar a cabo todas las acciones de mantenimiento, para facilitar la operatividad de los sistemas. Para la selección y adquisición de equipos, se tienen en cuenta las diferentes alternativas tecnológicas, para lo cual se cuentan con las suficientes casas fabricantes y proveedores. Se dispone de equipos adecuados para el almacenamiento de equipos permitiendo el control de su uso.		30
1.1 No se cuenta con los equipos necesarios para que el ente de mantenimiento opere con efectividad.	-5	0
1.2 Se tienen los equipos necesarios, pero no se le da el uso adecuado.	-5	0
1.3 El ente de mantenimiento no conoce o no tiene acceso a información (catálogos, revistas u otros), sobre las diferentes alternativas económicas para la adquisición de equipos.	-5	0
1.4 Los parámetros de operación, mantenimiento y capacidad de los equipos no son plenamente conocidos o la información es deficiente.	-5	0

LISTA DE VERIFICACIÓN COVENIN 2500-93		
Criterio de Evaluación de Recursos	Puntuación mínima	Puntuación máxima
1.5 No se lleva registros de entrada y salida de equipos.	-5	0
1.6 No se cuenta con controles de uso y estado de los equipos.	-5	0
Puntuación obtenida	15	
2. Herramientas		
<p>Principio básico. La organización de mantenimiento cuenta con las herramientas necesarias, en un sitio de fácil alcance, logrando así que el ente de mantenimiento opere satisfactoriamente reduciendo el tiempo por espera de herramientas. Se dispone de sitios adecuados para el almacenamiento de herramientas permitiendo el control de su uso.</p>	30	
2.1 No se cuenta con las herramientas necesarias, para que el ente de mantenimiento opera eficientemente.	-10	0
2.2 No se dispone de un sitio para la localización de las herramientas, donde se facilite y agilice su obtención.	-5	0
2.3 Las herramientas existentes no son las adecuadas para ejecutar las tareas de mantenimiento.	-5	0
2.4 No se llevan registros de entrada y salida de herramientas.	-5	0
2.5 No se cuenta con controles de uso y estado de las herramientas.	-5	0
Puntuación obtenida	25	
3. Instrumentos		
<p>Principio básico. La organización de mantenimiento posee los instrumentos adecuados para llevar a cabo las acciones de mantenimiento. Para la selección de dichos instrumentos se toma en cuenta las diferentes casas fabricantes y proveedores. Se dispone de sitios adecuados para el almacenamiento de instrumentos permitiendo el control de su uso.</p>	30	
3.1 No se cuenta con los instrumentos necesarios, para que el ente de mantenimiento opera eficientemente	-5	0
3.2 No se toma en cuenta para la selección de los instrumentos, la efectividad y exactitud de los mismos.	-5	0
3.3 El ente de mantenimiento no tiene acceso a la información (catálogos, revistas u otros), sobre diferentes alternativas tecnológicas de los instrumentos.	-5	0
3.4 Se tienen los instrumentos necesarios para operar con eficiencia, pero no se conoce o no se les da el uso adecuado.	-5	0
3.5 No se llevan registro de entrada y salida de instrumentos.	-5	0
3.6 No se cuenta con controles de uso y estado de los instrumentos.	-5	0
Puntuación obtenida	20	

LISTA DE VERIFICACIÓN COVENIN 2500-93		
Criterio de Evaluación de Recursos	Puntuación mínima	Puntuación máxima
4. Materiales		
<p>Principio básico. La organización de mantenimiento cuenta con un stock de materiales, de buena calidad y con facilidad para su obtención y así evitar prolongar el tiempo de espera por materiales, existiendo seguridad de que el sistema opere en forma eficiente. Se posee una buena clasificación de materiales para su fácil ubicación y manejo. Se conocen los diferentes proveedores para cada material, así como también los plazos de entrega. Se cuenta con políticas de inventario para los materiales utilizados en mantenimiento.</p>		30
4.1 No se cuentan con los materiales que se requieren para las tareas de mantenimiento.	-3	0
4.2 El material se daña con frecuencia por no disponer de un área adecuada de almacenamiento.	-3	0
4.3 Los materiales no están identificados plenamente en el almacén (etiquetas, sellos, rótulos, colores u otros).	-3	0
4.4 No se ha determinado el costo por falta de material.	-3	0
4.5 No se ha establecido cuales materiales tener en stock y cuales comprar de acuerdo a pedidos.	-3	0
4.6 No se poseen formatos de control de entrada y salida de materiales de circulación permanente.	-3	0
4.7 No se lleva el control (formatos) de los materiales desechados por mala calidad.	-3	0
4.8 No se tiene información precisa de los diferentes proveedores de cada material.	-3	0
4.9 No se conocen los plazos de entrega de los materiales por los proveedores.	-3	0
4.10 No se conocen los mínimos y máximos para cada tipo de material.	-3	0
Puntuación obtenida		24
5. Repuestos		
<p>Principio básico. La organización de mantenimiento cuenta con un stock de repuestos, de buena calidad y con facilidad para su obtención y así evitar prolongar el tiempo de espera por repuestos, existiendo seguridad de que el sistema opere en forma eficiente. Los repuestos se encuentran identificados en el almacén para su fácil ubicación y manejo. Se conocen los diferentes proveedores para cada repuesto, así como también los plazos de entrega. Se cuenta con políticas de inventario para los repuestos utilizados en mantenimiento.</p>		30

LISTA DE VERIFICACIÓN COVENIN 2500-93		
Criterio de Evaluación de Recursos	Puntuación mínima	Puntuación máxima
5.1 No se cuentan con los repuestos que se requieren para las tareas de mantenimiento.	-3	0
5.2 Los repuestos se dañan con frecuencia por no disponer de un área adecuada de almacenamiento.	-3	0
5.3 Los repuestos no están identificados plenamente en el almacén (etiquetas, sellos, rótulos, colores u otros).	-3	0
5.4 No se ha determinado el costo por falta de repuestos.	-3	0
5.5 No se ha establecido cuales repuestos tener en stock y cuales comprar de acuerdo a pedidos.	-3	0
5.6 No se poseen formatos de control de entrada y salida de repuestos de circulación permanente.	-3	0
5.7 No se lleva el control (formatos) de los repuestos desechados por mala calidad.	-3	0
5.8 No se tiene información precisa de los diferentes proveedores de cada repuesto.	-3	0
5.9 No se conocen los plazos de entrega de los repuestos por los proveedores.	-3	0
5.10 No se conocen los mínimos y máximos para cada tipo de repuestos.	-3	0
Puntuación obtenida		27
TOTAL	111	150

Fuente: (Comité Técnico de Normalización de COVENIN 1993, p. 22-24)

Elaborado por: Byron Muñoz

La calificación total de la gestión de los recursos de mantenimiento es de 111 sobre 150, o lo que es lo mismo el 74 % de la calificación máxima. El resultado indica que la empresa está cumpliendo parcialmente con los parámetros establecidos por la norma COVENIN 2500. Sin embargo, la gestión de los equipos tiene una calificación baja, debido a que a los equipos disponibles no se les da el uso adecuado porque la autorización para la utilización de los equipos no se emite fácilmente para cualquier tarea, además la capacidad de los equipos no es conocida por todo el personal de mantenimiento y no se hace un control técnico del estado de uso de los equipos.

En la Tabla 15 se muestra la evaluación global de la gestión de mantenimiento preventivo, a partir de la sumatoria de cada área y se presentan las calificaciones en porcentajes con el objeto de comparar entre las diferentes áreas y principios básicos.

Tabla 15. Evaluación global de la gestión de mantenimiento preventivo.

ÁREA	PRINCIPIO BÁSICO	PUNTOS OBTENIDOS	CALIFICACIÓN MÁXIMA	CALIFICACIÓN PROCENTUAL (%)
Organización del mantenimiento	Funciones y responsabilidades	55	80	68.75
	Autoridad y autonomía	30	50	60.00
	Sistema de información	60	70	85.71
	Total	145	200	72.50
Mantenimiento preventivo	Determinación de parámetros	60	80	75.00
	Planificación	20	40	50.00
	Programación e implantación	35	70	50.00
	Control y evaluación	30	60	50.00
	Total	145	250	58.00
Personal de mantenimiento	Cuantificación de las necesidades del personal	50	70	71.43
	Selección y formación	60	80	75.00
	Motivación e incentivos	40	50	80.00
	Total	150	200	75.00
Recursos	Equipos	15	30	50.00
	Herramientas	25	30	83.33
	Instrumentos	25	30	83.33
	Materiales	24	30	80.00
	Repuestos	27	30	90.00
	Total	111	150	74.00
Total		551	800	68.88

Fuente: (Comité Técnico de Normalización de COVENIN 1993, p. 26-27)

Elaborado por: Byron Muñoz

La Tabla 15 permite establecer que el área más crítica es la que corresponde estrictamente a la gestión del mantenimiento preventivo, dado que la calificación equivalente en porcentaje es de 58 %, además esta área presenta un desempeño disparado con respecto a las otras que contempla la gestión. Mientras que la evaluación general da como resultado el 68.88 %, valor que denota que la gestión es deficiente.

Evaluación del departamento técnico de mantenimiento

Complementariamente, corresponde hacer una evaluación del departamento técnico de mantenimiento, con base en los siguientes parámetros: evaluaciones individuales de las instalaciones físicas, de los equipos y herramientas, del personal de mantenimiento, de la seguridad industrial, de la atención interna, del control de gestión, de las condiciones del ambiente de trabajo y de la contaminación ambiental.

La nomenclatura utilizada para la evaluación del departamento técnico de mantenimiento es la siguiente:

Po → Calificación obtenida.

Pm → Calificación máxima u óptima (5, 10 o 15, según el parámetro evaluado).

Pa → Valor de ponderación para cada parámetro, con el objeto de evaluar sobre 100 la calificación máxima global.

Va → Calificación ponderada asignada en cada instructivo a los parámetros de evaluación.

La escala de calificación para los diferentes departamentos de mantenimiento, se muestra en la Tabla 16:

Tabla 16. Escala de ponderación de mantenimiento.

CALIFICACIÓN	CRITERIO
0	No se cumple, no dispone
2	Se cumple parcialmente en mínimo grado
3	Se cumple solo parcialmente
5	Se cumple parcialmente en un 50 %
7	Se cumple parcialmente en un 70 %
8	Se cumple parcialmente en un 80 %
10	Se cumple en su totalidad
15	Se cumple en su totalidad con un margen de holgura

Elaborado por: Byron Muñoz

En las Tablas 17 a la 24 se muestran cada uno de los instructivos de los parámetros de evaluación del departamento de mantenimiento.

Cada parámetro tiene un instructivo independiente (una tabla específica a través de un conjunto de requisitos o ítems). A su vez, para cada ítem se establecen unas condiciones a cumplir, en caso de conformidad con dichas condiciones se asigna la puntuación máxima que es equivalente al valor ubicado en la columna de la derecha; en caso de conformidad parcial se asigna un valor intermedio y cuando no hay cumplimiento se coloca el valor mínimo. El valor seleccionado se resalta en color verde. Al final se suman las calificaciones asignadas para cada ítem y se obtiene la calificación general de cada instructivo, en concordancia con la Norma NTP 679.

A continuación se presenta el desarrollo de la evaluación de los instructivos:

Tabla 17. Instructivo de calificación para instalaciones físicas (Pa=20)

Instructivo de calificación para instalaciones físicas			
Requisitos	Condiciones	Po	Pm
Área total bajo cubierta no menor a 200 m ²	De 200 a 400 m ²	8	10
	Mayor a 400 m ²	10	
Piso nivelado con buen acabado	Adoquinado	5	10
	Pavimentado	10	
Cubierta de las áreas de trabajo en buenas condiciones sin fisuras y fijadas a una estructura rígida	Estructura de madera	5	10
	Estructura metálica	10	
Cerramiento del departamento de mantenimiento en todo su alrededor.	Parcialmente en un 70 %	7	10
	En su totalidad	10	
Zona 1: Bajo cubierta, con cerramiento, debidamente ordenado y con:	Área definida en condiciones de seguridad	5	10
	En condiciones óptimas	10	
Zona 2: Debidamente ubicada sin que afecte la actividad de otras áreas, con la señalización respectiva.	Área no definida	0	5
	Área definida	5	
Zona 3: Debidamente ubicada sin que afecte la actividad de otras áreas, con la señalización respectiva.	Definido dentro de la Zona 4	5	10
	Área definida	10	
Zona 4: Debidamente ubicada sin que afecte la actividad de otras áreas, con la señalización respectiva.	Definido dentro de la Zona 3	5	10
	Dispone	10	
Zona 5: Ubicada de tal forma que no afecte ni contamine otras áreas.	Bajo condiciones mínimas	5	10
	En óptimas condiciones	10	
Zona 6: Con paredes, cubierta, puertas, ventanas en buenas condiciones.	Menor a 10 m ²	5	15
	De 10 a 30 m ²	10	
	Mayor a 30 m ²	15	
Instalaciones de agua ubicadas en puntos esenciales para su utilización, sin fugas y sin presentar dificultad para la actividad productiva.	Dispone pero no son suficientes.	5	10
	Dispone bajo óptimas condiciones.	10	
Puntos de energía eléctrica en los sitios estratégicos, con identificación, conexiones bajo protección sin presentar peligro ni obstáculo para la producción.	Dispone pero no son suficientes.	5	10
	Dispone bajo óptimas condiciones.	10	
Tomas de aire comprimido identificados en puntos estratégicos, sin fugas y sin presentar peligro ni obstáculo para la actividad productiva.	Dispone pero no son suficientes.	5	10
	Dispone bajo óptimas condiciones.	10	
La iluminación natural o artificial del departamento debe ser clara durante la jornada de labores.	En óptimas condiciones	5	5

Fuente: (NTP 679, 2004)

Elaborado por: Byron Muñoz

Tabla 18. Instructivo de calificación para equipos y herramientas (Pa=16)

Instructivo de calificación para equipos y herramientas			
Requisitos	Condiciones	Po	Pm
Herramientas y equipos apropiados y suficientes para la actividad.	Disponer de un 70%	7	10
	Dispone lo suficiente	10	
Herramientas y equipos en buen estado.	50% al 80% del total	7	10
	81% al 100% del total	10	
Disponibilidad de un lugar específico de ubicación de herramientas y equipos.	Parcialmente	5	10
	En su totalidad	10	
Procedimiento de un control de herramientas y mantenimiento de equipos.	Parcialmente	2	5
	En su totalidad	5	
Los equipos e instrumentos cumplen con la capacidad requerida dentro del proceso de mantenimiento.	Capacidad al límite	5	10
	De capacidad suficiente	10	
Propiedad sobre los equipos.	50% al 70%	7	10
	Más del 71%	10	
Área específica para el proceso de acabados.	Área en condiciones óptimas	7	10
	Cabina de pintura	10	

Fuente: (NTP 679, 2004)

Elaborado por: Byron Muñoz

Tabla 19. Instructivo de calificación para personal de mantenimiento (Pa=14)

Instructivo de calificación para personal de mantenimiento			
Requisitos	Condiciones	Po	Pm
Formación académica del personal de supervisión del proceso de mantenimiento	Con experiencia demostrada	5	10
	Técnico bachiller	7	
	Profesional de 3er. Nivel	10	
Formación académica del personal administrativo.	Con experiencia demostrada	5	10
	Técnico bachiller	7	
	Profesional de 3er. Nivel	10	
Formación del personal responsable del proceso de soldadura.	Calificado bajo normas vigentes	10	10
Formación del personal responsable de los procesos de mantenimiento.	Con experiencia demostrada	5	10
	Técnico bachiller	8	
	Técnico profesional o superior	5	

Fuente: (NTP 679, 2004)

Elaborado por: Byron Muñoz

Tabla 20. Instructivo de calificación de seguridad industrial (Pa=14)

Instructivo de calificación de seguridad industrial			
Requisitos	Condiciones	Po	Pm
Personal de planta con la indumentaria correspondiente para el desarrollo de su actividad.	Parcialmente en un 70%	7	10
	En su totalidad	10	
Personal de planta con los equipos de protección requeridos para desarrollar su actividad.	Parcialmente en un 70%	7	10
	En su totalidad	10	
Equipos contra incendios, vigentes conforme a las normas.	Parcialmente en un 70%	7	10
	En su totalidad	10	
Equipos de protección para visitas.	Dispone para 2 visitas.	3	5
	Dispone para más de 4 visitas.	5	
Señalización por áreas de trabajo y de circulación conforme las normas vigentes.	Parcialmente en un 70%	7	10
	En su totalidad	10	
Señalización informativa de salidas de emergencia, de peligro y otras según normas vigentes.	Parcialmente en un 70%	7	10
	En su totalidad	10	
Documento reglamentario para aplicación de la seguridad industrial.	No dispone	0	5
	Dispone	5	

Fuente: (NTP 679, 2004)

Elaborado por: Byron Muñoz

Tabla 21. Instructivo de calificación para atención interna (Pa=11)

Instructivo de calificación para atención interna			
Requisitos	Condiciones	Po	Pm
Mobiliario adecuado y servicio sanitario.	Parcialmente hasta en un 70%	7	10
	En su totalidad.	10	
Mobiliario en buenas condiciones de confort y de limpieza.	Parcialmente hasta en un 70%	7	10
	En su totalidad.	10	
Disponibilidad de agua potable u otra bebida refrescante.	No dispone	0	5
	Dispone	5	

Fuente: (NTP 679, 2004)

Elaborado por: Byron Muñoz

Tabla 22. Instructivo de calificación para control de gestión (Pa=10)

Instructivo de calificación para control de gestión			
Requisitos	Condiciones	Po	Pm
Documentos legales: RUC, permisos de funcionamiento ambiental y de cuerpo de bomberos vigentes.	Dispone	10	10
Documentos técnicos: manuales de construcción, de mantenimiento de equipos.	Parcialmente.	7	10
	Los necesarios.	10	
Registro del proceso de mantenimiento: órdenes de pedido, de trabajo, de actividades, de entrega, etc.	Parcialmente.	7	10
	Los necesarios.	10	
Registro del proceso de control de calidad.	Parcialmente.	7	10
	Los necesarios.	10	
Entrega de garantía técnica.	No dispone.	0	10
	Dispone	10	
Registro del personal.	No dispone.	0	5
	Dispone	5	

Fuente: (NTP 679, 2004)

Elaborado por: Byron Muñoz

Tabla 23. Instructivo de calificación para condiciones del ambiente de trabajo (Pa=9)

Instructivo de calificación para condiciones del ambiente de trabajo			
Requisitos	Condiciones	Po	Pm
Disponer del área administrativa con el mobiliario adecuado y servicio sanitario.	Parcialmente.	5	10
	En su totalidad.	10	
Vestuario con canceles para los operadores en buenas condiciones de seguridad y aseo.	No son suficientes.	5	10
	Los necesarios.	10	
Disponibilidad de servicio sanitario y duchas en buenas condiciones de funcionamiento y limpieza.	No son suficientes.	5	10
	Los necesarios.	10	
Áreas de trabajo en buen estado de limpieza y acabado.	Parcialmente.	5	10
	En su totalidad.	10	

Fuente: (NTP 679, 2004)

Elaborado por: Byron Muñoz

Tabla 24. Instructivo de calificación para contaminación Ambiental (Pa=7)

Instructivo de calificación para contaminación Ambiental			
Requisitos	Condiciones	Po	Pm
Disponer de depósitos para los materiales de reciclaje y desechables.	Parcialmente.	5	10
	En su totalidad.	10	
Materiales desechables clasificados por el tipo.	Parcialmente.	5	10
	En su totalidad.	10	
Disponer de un buen sistema de disposición para aguas servidas.	Dispone.	10	10

Fuente: (NTP 679, 2004)

Elaborado por: Byron Muñoz

Una vez que se dispone de cada una de las calificaciones de los ámbitos de interés del departamento técnico de mantenimiento, es pertinente presentar los resultados en una Tabla 25 consolidada, para facilitar el análisis correspondiente.

Tabla 25. Calificación de los diferentes departamentos de Mantenimiento

REQUISITOS	Σ Po	Σ Pm	Pa	Va
Instalaciones Físicas	98	135	20	14.52
Equipos y herramientas	57	65	16	14.03
Personal	38	40	14	13.30
Seguridad Industrial	38	60	14	8.87
Atención al cliente	14	25	11	6.16
Control de Gestión	36	55	10	6.55
Condiciones del ambiente de trabajo	20	40	9	4.50
Contaminación ambiental	20	30	7	4.67
	Puntuación Global		100	72.59

Fuente: (NTP 679, 2004)

Elaborado por: Byron Muñoz

La Tabla 25 muestra las calificaciones individuales para los diferentes departamentos. La columna uno muestra la puntuación obtenida (Po), la columna dos las puntuaciones máximas (Pm), la columna tres muestra el valor de ponderación para cada parámetro (Pa) y la columna cuatro el valor alcanzado una vez aplicada la ponderación (Va).

La fórmula para el cálculo del Va es la siguiente:

$$Va = \frac{Po \cdot Pa}{Pm} \quad \text{ecuación 3.1}$$

La calificación global es de 72.59 %, que en una equivalencia cualitativa corresponde la siguiente escala:

La Tabla 26 muestra la evaluación final del departamento de mantenimiento.

Tabla 26. Evaluación final del departamento de Mantenimiento.

Puntuación Global	Resultado final
Hasta 50	Rechazado
De 51 a 74	Condicionado
De 75 a 100	Aprobado

Fuente: (NTP 679, 2004)

Elaborado por: Byron Muñoz

De acuerdo a la evaluación realizada al departamento de mantenimiento, éste se califica como condicionado al haber obtenido una puntuación global de 72,59 sobre 100; lo que implica que se requieren acciones de mejora.

Mantenimiento preventivo

Es el mantenimiento que emplea todos los medios disponibles, inclusive los estadísticos, para determinar la frecuencia de las inspecciones, revisiones y sustituciones de piezas, así como para conocer la probabilidad de aparición de averías y la vida útil. Este tipo de mantenimiento tiene por objeto predecir o adelantarse a la aparición de las fallas (COVENIN 1993b, p. 2).

Mantenimiento correctivo

Es el que comprende cualquier actividad destinada a tratar de eliminar la necesidad de mantenimiento, es decir, se orienta a corregir las fallas de un modo integral a mediano plazo (COVENIN 1993b, p. 2).

Mantenimiento programado

Es aquel que está basado en el establecimiento de ciclos de revisión y/o sustituciones para los elementos de un sistema de producción. En la programación se toma como referente las especificaciones técnicas de los fabricantes y la experiencia (COVENIN 1993b, p. 2).

Mantenimiento por avería o reparación

Es aquel que se realiza como una respuesta al apareamiento de una falla, su objetivo se centra en la rehabilitación del equipo en el menor tiempo posible. Este tipo de mantenimiento no es programado, por esta razón repercute en el incremento de los costos de mantenimiento (COVENIN 1993b, p. 2).

Disponibilidad

La disponibilidad de equipos (D) es la relación entre el tiempo medio entre fallas (MTBF por sus siglas en inglés) y la suma del mismo más el tiempo medio para reparación (MTTR) (incluido tiempos de preparación para desconexión y conexión y tiempos de espera) (Tavares 2006, p. 54; Isermann 2011, p. 20; AENOR 2011).

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \times 100 \quad \text{ecuación 3.2}$$

La fórmula anterior es utilizada para el cálculo de la Disponibilidad de equipos sometidos exclusivamente a la reparación de fallas (Tavares 2006, p. 54). Es decir, se puede interpretar como una disponibilidad por averías, en donde se tienen en cuenta tan sólo las paradas por averías.

La disponibilidad, expresada como el número de horas que un equipo ha estado disponible para producir en un período determinado y el número de horas totales de dicho lapso, debe ser expresada con una fórmula que considere el tiempo de todas

las tareas de mantenimiento y en ese sentido es más conveniente expresarlo con la siguiente fórmula (Tavares 2006, p. 54):

$$D = \frac{\sum \text{HROP}}{\sum (\text{HROP} + \text{MTMN})} \times 100 \quad \text{ecuación 3.3}$$

Donde:

D = Disponibilidad de equipo.

HROP = Tiempo total de operación (h).

HTMN = Tiempo total de mantenimiento (h).

Disponibilidad de los motores Hyundai 9H21/32

La disponibilidad de los motores Hyundai 9H21/32 se determinó a través de un estudio realizado en el periodo octubre 2016 – marzo 2017. En el cual se consideró los mantenimientos programados y por avería (reparación), así como la naturaleza de los mismos (preventivo o correctivo), de esta manera mediante aplicación de la fórmula (3.3) se llegó a establecer los valores de disponibilidad para cada uno de los motores.

Para el registro del tiempo de operación se utilizaron horómetros instalados en el equipo, de igual manera en el caso de mantenimiento (que en todos los casos implica paralización) se contabilizó el tiempo empleado.

En la Tabla 27, se presentan los valores de disponibilidad obtenidos para los 12 motores Hyundai 9H21/32, constan las horas totales de mantenimiento (HTMN), las horas totales de operación (HROP), el tiempo medio entre fallas (MTBF), el tiempo medio para la reparación (MTTR), las horas de mantenimiento de tipo preventivo y la disponibilidad expresada en número adimensional y en porcentaje, durante el periodo octubre 2016 – marzo 2017.

Tabla 27. Disponibilidad de los motores.

Motor Hyundai 9H21/32	ΣHTMN (h)	ΣHROP (h)	MTBF (h)	MTT R (h)	Preventivo (h)	D	D (%)
U49	183	4185	4233	33.75	48	0.958	95.81%
U50	204	4164	4215	30.60	51	0.953	95.33%
U51	140	4228	4278	30.00	50	0.968	96.79%
U52	226	4142	4186	36.40	44	0.948	94.83%
U53	227	4141	4180	37.60	39	0.948	94.80%
U54	116	4252	4308	30.00	56	0.973	97.34%
U55	213	4155	4197	42.75	42	0.951	95.12%
U56	194	4174	4317	17.00	55	0.956	95.56%
U57	170	4198	4266	51.00	44	0.961	96.11%
U58	132	4236	4312	18.67	52	0.970	96.98%
U59	282	4086	4117	35.86	31	0.935	93.54%
U60	103	4265	4322	23.00	57	0.976	97.64%
General	2190	50226	50931	386.62	569	0.958	95.82%
Promedio	182.50	4185.50	4244.25	32.22	47.42	-	-

Fuente: Ficha técnica de control

Elaborado por: Byron Muñoz

Al observar la Tabla 27, se evidencia que el tiempo total de mantenimiento preventivo (569 h) representa el 26 % del tiempo total de mantenimiento (2190 h). Éste último considera, además del preventivo, el mantenimiento correctivo y el circunstancial, que generalmente son mantenimientos no programados. Es decir, básicamente las actividades de mantenimiento corresponden a dar solución a las averías presentadas. Como consecuencia de esto, la disponibilidad general es de 95.82 %.

Identificación de fallas potenciales en los sistemas del motor Hyundai 9H21/32

Los motores Hyundai 9H21/32 están constituidos por cinco sistemas, cada uno de los cuales cumple una función específica.

A continuación, en la Tabla 28 se describen los sistemas y su código de identificación correspondiente:

Tabla 28. Sistemas constitutivos del Motor Hyundai 9H21/32

No.	SISTEMA	CODIFICACIÓN
1	Regulación y control del motor	B4-MH-RC
2	Enfriamiento	B4-MH-E
3	Inducción o aspiración	B4-MH-I
4	Lubricación	B4-MH-L
5	Combustible	B4-MH-C

Fuente: Manual de Operación Motor Hyundai 9H21/32

Elaborado por: Byron Muñoz

Al mismo tiempo, cada uno de los sistemas cuenta con varios componentes, conforme se muestra en la Tabla 29:

Tabla 29. Componentes Mantenimiento Programado.

SISTEMA	COMPONENTE
REGULACIÓN Y CONTROL	Sensor de alzada de la aguja de inyección
	Sensor de temperatura del motor
	Bujías de incandescencia
	Electroválvula de control de retroalimentación de gases de escape
	Motor regulador del caudal de inyección
ENFRIAMIENTO	Electroválvula de STOP
	Bomba de refrigerante
	Camisas de agua
INDUCCIÓN O ASPIRACIÓN	Radiador
	Filtro de aire
	Turbo cargador
LUBRICACIÓN	Catalizador
	Bomba de lubricación
	Tanque de suministro
	Separador de aceite
	Filtro de succión
	Bomba del separador
COMBUSTIBLE	Ventilador
	Bomba de inyección
	Tubería de inyección
	Gobernador

Elaborado por: Byron Muñoz

Complementariamente se presentan en el Anexo A las fichas de datos A1, A2, A3, A4 y A5. En las fichas se detallan las funciones de los sistemas, los componentes con sus códigos de identificación e imágenes ilustrativas de los sistemas.

Cada uno de los sistemas constitutivos del motor es de fundamental importancia para el correcto funcionamiento y desempeño del motor, pero es necesario recalcar que el sistema de regulación y control cumple una función primordial, debido a que gobierna el resto de sistemas, es por esto que, se debe tener especial cuidado en el mismo para minimizar averías, así como un control inadecuado de las variables medidas y controladas.

Al sistema de regulación y control se le podría considerar como el cerebro del motor, si éste falla, el resto de sistemas empieza también a fallar, debido a una gobernación no acorde a los requerimientos de operación y funcionamiento del motor.

Hojas de control de componentes

Una vez identificados y codificados cada uno de los componentes de los sistemas del motor HYUNDAI 9H21/32, se presenta a continuación las hojas de control de componentes, donde se indican o establecen los mantenimientos correctivos y preventivos necesarios para cada uno de ellos, así como tiempos estimados a utilizar y personal responsable del mismo.

En lo referente a la persona responsable del mantenimiento desarrollado se encuentran inmersos todas las personas involucradas directamente dentro del departamento, cada uno de ellos con sus respectivas actividades previamente designadas. Es necesario recalcar que existen actividades desarrolladas directamente por el Jefe del departamento de Mantenimiento, y otras desarrolladas por personal auxiliar, las cuales una vez efectuadas o en pleno desarrollo de la misma serán supervisadas y/o aprobadas por el Jefe de Mantenimiento.

En la Tabla 30 se presenta el desarrollo de la hoja de control del sistema B1 Sistema de regulación y control.

En la Tabla 31 se muestra el desarrollo de la hoja de control del sistema B2 Sistema de enfriamiento.

En la Tabla 32 se muestra el desarrollo de la hoja de control del sistema B3 Sistema de inducción o aspiración.

En la Tabla 33 se muestra el desarrollo de la hoja de control del sistema B4 Sistema de enfriamiento.

En la Tabla 34 se presenta el desarrollo de la hoja de control del sistema B5 Sistema de combustible.

Tabla 30. Hoja de control B1.

HOJA DE CONTROL B1

MÁQUINA : MOTOR		PROCEDENCIA: COREA		CÓDIGO : B4-MH-RC		
MARCA : HYUNDAI 9H21/32		AÑO DE FABRICACIÓN:		MODELO DE MANTENIMIENTO : Mtto. Preventivo y Correctivo		
FECHA	SISTEMA	PARTES REVISADAS	TIEMPO EST. (minutos)	TRABAJO REALIZADO	OBSERVACIONES O ESPECIFICACIONES	RESPONSABLE
07/11/2016	Regulación y Control	Sensor de alzada	25	Comprobación de respuesta. Limpieza	La limpieza debe ser realizada cada 300 horas de funcionamiento	Técnico Mecánico
07/11/2016		Sensor de rpm	30	Comprobación de respuesta. Limpieza	Requiere sustitución	Técnico Eléctrico
08/11/2016		Caudalímetro	25	Calibración.	La calibración se debe desarrollar cada 200 horas de funcionamiento	Técnico Eléctrico
08/11/2016		Sensor de temperatura	40	Calibración. Limpieza	Requiere sustitución	Técnico Eléctrico
08/11/2016		Contactos	60	Comprobación de conductividad	Sin novedad	Técnico Eléctrico
08/11/2016		Sensor de posición	25	Calibración. Limpieza	La limpieza debe ser realizada cada 200 horas de funcionamiento	Técnico Eléctrico
10/11/2016		Bujías	60	Limpieza	Presentan resequedad	Técnico Mecánico
10/11/2016		Electroválvulas	60	Comprobación de respuesta. Limpieza	Asegúrese de cortar la presión de alimentación	Técnico Eléctrico
10/11/2016		Sensor de presión	25	Calibración. Limpieza	La limpieza debe ser realizada cada 300 horas de funcionamiento	Técnico Eléctrico

Fuente: (NTP 679, 2004)-Ficha técnica de control

Elaborado por: Byron Muñoz

Tabla 31. Hoja de control B2.

HOJA DE CONTROL B2

MÁQUINA :		MOTOR		PROCEDENCIA:		CÓDIGO :	
MARCA :		HYUNDAI 9H21/32		COREA		B4-MH-E	
				AÑO DE FABRICACIÓN:		MODELO DE MANTENIMIENTO :	
						Mtto. Preventivo y Correctivo	
FECHA	SISTEMA	PARTES REVISADAS	TIEMPO EST. (minutos)	TRABAJO REALIZADO	OBSERVACIONES O ESPECIFICACIONES	RESPONSABLE	
11/11/2016	Enfriamiento	Bomba de refrigerante	60	Comprobación de presión	Desarrollada cada 50 horas de funcionamiento	Técnico Mecánico	
11/11/2016		Hélice	30	Calibración Limpieza	Desarrollada cada 50 horas de funcionamiento	Jefe de Mantenimiento	
11/11/2016		Tanque de reserva	25	Chequeo de fugas	Sin novedad	Técnico Mecánico	
14/11/2016		Tapas del tanque de reserva	15	Chequeo de ajustaje	Presenta aislamiento controlado	Técnico Mecánico	
14/11/2016		Camisas de agua	25	Chequeo de fugas	Sin novedad	Jefe de Mantenimiento	
14/11/2016		Radiador	25	Chequeo de fugas. Control de temperatura	Control permanente	Jefe de Mantenimiento	
14/11/2016		Válvula termostato	15	Comprobación del sensor de temp.	Sin novedad	Técnico Mecánico	
14/11/2016		Embrague del ventilador	20	Comprobación de respuesta. Limpieza	Sin novedad	Técnico Mecánico	

Fuente: (NTP 679, 2004)-Ficha técnica de control

Elaborado por: Byron Muñoz

Tabla 32. Hoja de control B3.

HOJA DE CONTROL B3

MÁQUINA : MARCA :		MOTOR HYUNDAI 9H21/32		PROCEDENCIA: AÑO DE FABRICACIÓN:		COREA		CÓDIGO : MODELO DE MANTENIMIENTO :		B4-MH-I Mtto. Preventivo y Correctivo	
FECHA	SISTEMA	PARTES REVISADAS	TIEMPO EST. (minutos)	TRABAJO REALIZADO	OBSERVACIONES O ESPECIFICACIONES	RESPONSABLE					
15/11/2016	Inducción o Aspiración	Unidad de control	30	Comprobación de respuesta. Limpieza	Sin novedad	Técnico Eléctrico					
15/11/2016		Filtro de aire	15	Limpieza	Cambiar cada 100 horas de funcionamiento	Técnico Mecánico					
15/11/2016		Turbo cargador	20	Medición de compresión de gases	Presenta baja presión	Jefe de Mantenimiento					
15/11/2016		Enfriador de aire	30	Limpieza	Requiere sustitución	Técnico Mecánico					
16/11/2016		Bomba de aire secundario	30	Comprobación de presión	Presenta baja presión	Jefe de Mantenimiento					
16/11/2016		Sonda ante catalizador	25	Calibración. Limpieza	Requiere sustitución	Técnico Mecánico					
16/11/2016		Catalizador	30	Calibración. Limpieza	Sin novedad	Técnico Mecánico					

Fuente: (NTP 679, 2004)-Ficha técnica de control

Elaborado por: Byron Muñoz

Tabla 33. Hoja de control B4.

HOJA DE CONTROL B4

MÁQUINA : MOTOR		PROCEDENCIA: COREA		CÓDIGO : B4-MH-L		
MARCA : HYUNDAI 9H21/32		AÑO DE FABRICACIÓN:		MODELO DE MANTENIMIENTO : Mtto. Preventivo y Correctivo		
FECHA	SISTEMA	PARTES REVISADAS	TIEMPO EST. (minutos)	TRABAJO REALIZADO	OBSERVACIONES O ESPECIFICACIONES	RESPONSABLE
17/11/2016	Lubricación	Bombas	40	Comprobación de presión	Sin novedad	Jefe de Mantenimiento
17/11/2016		Enfriador de aceite	20	Calibración	Desarrollada cada 50 horas de funcionamiento	Técnico Mecánico
17/11/2016		Válvula termostato	25	Calibración.	Sin novedad	Técnico Mecánico
17/11/2016		Filtros	15	Calibración Limpieza	Requiere sustitución	Técnico Mecánico
17/11/2016		Tanque de suministro	25	Chequeo de fugas	Sin novedad	Técnico Mecánico
17/11/2016		Calentador	25	Calibración.	Sin novedad	Técnico Mecánico
17/11/2016		Ventilador	60	Calibración. Limpieza	Presenta vibraciones	Jefe de Mantenimiento

Fuente: (NTP 679, 2004)-Ficha técnica de control

Elaborado por: Byron Muñoz

Tabla 34. Hoja de control B5.

HOJA DE CONTROL B5

MÁQUINA :		MOTOR		PROCEDENCIA:		CÓDIGO :	
MARCA :		HYUNDAI 9H21/32		COREA		B4-MH-C	
				AÑO DE FABRICACIÓN:		Mtto. Preventivo y Correctivo	
FECHA	SISTEMA	PARTES REVISADAS	TIEMPO EST. (minutos)	TRABAJO REALIZADO	OBSERVACIONES O ESPECIFICACIONES	RESPONSABLE	
17/11/2016	Combustible	Depósito combustible	25	Chequeo de fugas. Limpieza	La limpieza debe ser realizada cada 300 horas de funcionamiento	Técnico Mecánico	
17/11/2016		Bomba de inyección	30	Comprobación de presión	Sin novedad	Técnico Mecánico	
17/11/2016		Bloque de conexión	25	Comprobación de conductividad	Sin novedad	Técnico Eléctrico	
17/11/2016		Tubería de inyección	40	Chequeo de fugas. Limpieza	Presenta zonas afectadas por corrosión	Jefe de Mantenimiento	
17/11/2016		Válvula de inyección	20	Calibración. Limpieza	Sin novedad	Técnico Mecánico	
17/11/2016		Gobernador	25	Chequeo de conductividad. Calibración	Desarrollar cada 100 horas de funcionamiento	Jefe de Mantenimiento	
17/11/2016		Depósito combustible	30	Chequeo de fugas Limpieza	Sin novedad	Técnico Mecánico	

Fuente: (NTP 679, 2004)-Ficha técnica de control

Elaborado por: Byron Muñoz

Matriz de análisis modal de efectos y fallos (AMFE)

El objetivo del AMFE es identificar las causas de los fallos en cada uno de los componentes de un equipo o sistema, mediante la evaluación. Es decir, teniendo en cuenta la frecuencia de aparición, la gravedad y la detección. El AMFE además permite definir preventivamente los fallos potenciales, lo que orienta sobre las políticas de mantenimiento a adoptar y el suministro de repuestos. Esta metodología brinda una búsqueda sistemática de los tipos de fallos, sus causas y sus efectos. Para el desarrollo de esta herramienta se utiliza una hoja estructurada, que permite recolectar la información y hacer el análisis con base en el cálculo del Número o índice de prioridad de riesgos (NPR). A continuación se presentan los criterios que conforman la hoja estructurada:

- a) Funciones: se describen las especificaciones y expectativas de desempeño, por lo tanto, cubren calidad del producto, control, protección, cumplimiento de normas, volumen de producción, entre otros.
- b) Fallo funcional: se refiere a la falta o incumplimiento de la función del elemento.
- c) Modo de fallo: forma en que el dispositivo o sistema puede dejar de funcionar o lo hace de forma anormal. Se expresa en términos de rotura, aflojamiento, atascamiento, fuga o cortocircuito.
- d) Causa raíz: es la anomalía inicial que puede conducir al fallo. Un mismo modo de fallo puede conducir a varias causas: falta de lubricante, mal estado o suciedad.
- e) Consecuencia: efecto del fallo sobre el sistema, la máquina, el producto o sobre el entorno inmediato.

La valoración proporcionará una estimación numérica de los respectivos parámetros de cada uno de los elementos de los diferentes sistemas del motor.

$$\text{NPR} = F \cdot G \cdot D \quad \text{ecuación 3.4}$$

Donde:

Número o índice de prioridad de riesgos (NPR).

Frecuencia (F): Estimación subjetiva de la ocurrencia del modo de fallo.

Gravedad (G): Estimación subjetiva de las consecuencias.

Detección (D): Estimación subjetiva de la probabilidad de ser detectado el fallo potencial.

En el Anexo B se presenta una introducción acerca de los tres parámetros que determinan el índice o número de prioridad de riesgo (NPR).

En la ecuación 3.4 se indica la fórmula de cálculo del NPR, que se obtiene a partir del producto de la gravedad por la frecuencia y por la detectabilidad. El valor del NPR crítico es de 100, en caso de ser igual o mayor a este valor se requiere acción correctiva inmediata.

Para la asignación de un valor, que corresponde a una calificación con base en un criterio evaluador, la Norma NTP 679 (Bestratén y Orriols 2004, p. 4-5) define una escala ordinal con 5 categorías basadas en la gravedad, la frecuencia y la detectabilidad, las calificaciones altas son críticas o representan un problema, como se muestran en las tablas de los Anexos C, D y E, respectivamente.

En el presente estudio se consideran los criterios de calificación de la gravedad, frecuencia y detectabilidad indicados en las Tablas 35, 36 y 37, que corresponden a la aplicación de la Norma NTP 679 (Anexos C, D y E), pero adaptada al caso particular del estudio de los motores Hyundai 9H21/32 de la Central Termoeléctrica Quevedo.

La Tabla 35 presenta el criterio de evaluación de la gravedad.

Tabla 35. Gravedad del modo de fallo de los motores Hyundai 9H21/32.

GRAVEDAD	CRITERIO		VALOR
Muy Baja Repercusiones imperceptibles	Fallo que no amerita intervención inmediata en el componente, se puede postergarla para el mantenimiento preventivo programado.		1
Baja Repercusiones irrelevantes apenas perceptibles	Fallo que amerita intervención, sin embargo la misma no implica paralización del motor.	duración estimada: 15 min	2
		duración estimada: 1 hora	3
Moderada Defectos de relativa importancia	Fallo que amerita intervención, que implica paralización del motor.	duración estimada: 30 min	4
		duración estimada: 1 hora	5
		duración estimada: 2 horas	6
Alta	Fallo que ocasiona la paralización del motor, se requiere mantenimiento circunstancial de rehabilitación.	duración estimada: 2 a 12 horas	7
		duración estimada: 1 día a 4 días	8
Muy Alta	Fallo que ocasiona la paralización del motor, se requiere mantenimiento correctivo. Es una modalidad de fallo potencial muy crítico.	5 días a 1 semana	9
		Duración indefinida	10

Fuente: (NTP 679, 2004)- Análisis modal de fallos y efectos

Elaborado por: Byron Muñoz

La Tabla 36 presenta el criterio de evaluación de la frecuencia.

Tabla 36. Frecuencia del modo de fallo de los motores Hyundai 9H21/32.

FRECUENCIA	CRITERIO		VALOR
Muy Baja Improbable	Fallo que nunca ha ocurrido y no se espera que ocurra.		1
Baja	Fallo poco probable que ocurra.	No ha ocurrido	2
		Alguna vez ha ocurrido	3
Moderada	Fallo eventual esporádico.	1 fallo semestral	4
		1 fallo trimestral	5
Alta	Fallo eventual.	1 fallo mensual	6
		2 fallos mensuales	7
		3 fallos mensuales	8
Muy Alta	Fallo eventual continuo.	1 fallo semanal	9
		Varios fallos semanales	10

Fuente: (NTP 679, 2004)- Análisis modal de fallos y efectos

Elaborado por: Byron Muñoz

La Tabla 37 presenta el criterio de evaluación de la detección.

Tabla 37. Detección del modo de fallo de los motores Hyundai 9H21/32.

DETECTABILIDAD	CRITERIO	VALOR
Muy Alta	El modo de fallo o los defectos que se presentan en el componente son detectados casi siempre, en cualquier tarea de mantenimiento e inclusive a simple vista.	1
Alta	El modo de fallo o los defectos que se presentan en el componente son detectados en la mayoría de tareas de mantenimiento, especialmente en el mantenimiento preventivo y es difícil de identificarlo a simple vista.	2-3
Mediana	El modo de fallo o los defectos que se presentan en el componente son detectados en el mantenimiento preventivo y existe poca probabilidad de que se lo detecte en otro tipo de mantenimiento.	4-6

DETECTABILIDAD	CRITERIO	VALOR
Pequeña	El modo de fallo o los defectos que se presentan en el componente son detectados solamente en el mantenimiento preventivo.	7-8
Improbable	El modo de fallo o los defectos que se presentan en el componente son casi indetectables inclusive ni en el mantenimiento preventivo.	9-10

Fuente: (NTP 679, 2004)- Análisis modal de fallos y efectos

Elaborado por: Byron Muñoz

A continuación, en las Tablas 38 a 42, se desarrolla el Análisis Modal de Fallos y Efectos (AMFE) para cada uno de los 5 sistemas que constituyen los motores Hyundai 9H21/32, mediante valoración de cada componente que forma parte de los sistemas. Además se indica la función de los componentes, los modos de fallo, las causas, los efectos y la acción correctora en caso de que el NPR exceda el valor de 100.

En la Tabla 38 se muestra el Análisis Modal de Fallos y Efectos del sistema de regulación y control.

Tabla 38. Análisis Modal de Fallos y Efectos - AMEF 1.

ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS – AMFE 1

CENTRAL TERMOELÉCTRICA QUEVEDO					SISTEMA DE REGULACIÓN Y CONTROL					B4-MH-RC
COMPONENTE	FUNCIÓN	MODO DE FALLO	EFECTO DE FALLO	CAUSA DEL FALLO	MEDIDAS DE CONTROL PREVISTAS	F	G	D	NPR	ACCIÓN CORRECTORA
Sensor de alzada de la aguja de inyección	Detectar posición de la aguja	Terminales desconect.	Detección errónea	Sobrecalent.	-----	4	4	5	80	-----
Sensor de rpm	Medir las rpm	Sobrecarga eléctrica	Medición errónea	Fluctuaciones de amperaje	-----	3	7	2	42	-----
Caudalímetro	Medir flujo de comb.	Taponam.	Medición errónea	Acumulac. de impurezas	-----	3	7	2	42	-----
Sensor de temperatura del motor	Medir la temperatura del motor	Mala calidad	Detección errónea	Fin de vida útil	-----	4	9	2	72	-----
Sensor de temperatura en el colector de admisión	Medir la temperatura del colector	Mala calidad	Detección errónea	Fin de vida útil	-----	3	7	2	42	-----
Contacto del pedal del embrague	Sensar la posición del pedal	Sobrecarga eléctrica	Detección errónea	Fluctuaciones de amperaje	-----	2	4	3	24	-----
Contacto del freno	Sensar la posición del freno	Sobrecarga eléctrica	Detección errónea	Fluctuaciones de amperaje	-----	3	6	3	54	-----
Sensor de posición del pedal del acelerador	Detectar posición del pedal	Terminales desconect.	Detección errónea	Sobrecalent.	-----	3	4	4	48	-----
Sensor de posición del regulador de caudal de inyección	Sensar la posición del regulador	Terminales desconect.	Detección errónea	Sobrecalent.	-----	2	4	4	32	-----
Sensor temperatura de combustible	Medir la temperatura	Mala calidad	Detección errónea	Fin de vida útil	-----	3	6	2	36	-----
Bujías de incandescencia	Producir la chispa eléctrica	Bajo voltaje	Arranque defectuoso	Mala calidad de comb.	-----	6	7	3	126	Aplica

ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS – AMFE 1

CENTRAL TERMOELÉCTRICA QUEVEDO					SISTEMA DE REGULACIÓN Y CONTROL				B4-MH-RC	
COMPONENTE	FUNCIÓN	MODO DE FALLO	EFECTO DE FALLO	CAUSA DEL FALLO	MEDIDAS DE CONTROL PREVISTAS	F	G	D	NPR	ACCIÓN CORRECTORA
Electroválvula de control de retroalimentación de gases de escape	Evitar ingreso de gases residuales	Taponam.	Detección errónea	Fin de vida útil	-----	5	7	4	140	Aplica
Electroválvula de control de la presión turbo	Mantener presión estándar	Taponam.	Fluctuaciones de presión no controladas	Fin de vida útil	-----	4	3	4	48	-----
Motor regulador del caudal de inyección	Brindar un flujo apropiado	Componentes quemados	Caudal insuficiente	Fin de vida útil	-----	4	4	6	96	-----
Electroválvula de STOP	Permitir o impedir paso de combustible	Taponam.	Bajo control de suministro de comb.	Acumulac. de impurezas	-----	4	4	4	64	-----
Electroválvula del variador de avance	Suministrar combustible en función de variac. de rpm	Taponam.	Bajo control de suministro de comb.	Acumulac. de impurezas	-----	3	4	4	48	-----
Sensor de la presión turbo	Medir la presión	Sobrecarga eléctrica	Medición errónea	Fluctuaciones de amperaje	-----	2	4	5	40	-----

Fuente: (NTP 679, 2004)- Análisis modal de fallos y efectos

Elaborado por: Byron Muñoz

En la Tabla 39 se muestra el Análisis Modal de Fallos y Efectos del sistema de enfriamiento.

Tabla 39. Análisis Modal de Fallos y Efectos - AMEF 2.

ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS – AMFE 2

CENTRAL TERMOELÉCTRICA QUEVEDO					SISTEMA DE ENFRIAMIENTO				B4-MH-E	
COMPONENTE	FUNCIÓN	MODO DE FALLO	EFEECTO DE FALLO	CAUSA DEL FALLO	MEDIDAS DE CONTROL PREVISTAS	F	G	D	NPR	ACCIÓN CORRECTORA
Bomba de refrigerante	Suministrar presión	Línea de succión tapada	Suministro insuficiente de refrigerante	Acumulación de impurezas	-----	3	9	6	162	Aplica
Hélice	Captar masas de aire	Presencia de vibraciones	Daño de componentes acoplados	Ensamblaje inapropiado	-----	3	5	4	60	-----
Tanque de reserva del refrigerante	Almacenar refrigerante	Presencia de fugas	Sobrecalentamiento	Corrosión excesiva	-----	2	9	3	54	-----
Tapas del tanque de reserva	Mantener presión	Aislamiento	Fuga de refrigerante	Ajustaje inapropiado	-----	3	7	5	105	Aplica
Camisas de agua	Refrigerar	Presencia de corrosión	Contaminación del refrigerante	Mala calidad refrigerante	-----	3	7	7	147	Aplica
Radiador	Intercambiar calor	Presencia de fugas	Sobrecalentamiento	Rotura	-----	6	9	5	270	Aplica
Válvula termostato	Abrir y cerrar el circuito	Taponamiento	Sobrecalentamiento	Fin de vida útil	-----	4	7	4	112	Aplica
Embrague del ventilador	Regular temperatura	Temperatura elevada	Sobrecalentamiento	Mala calidad	-----	4	5	5	100	Aplica

Fuente: (NTP 679, 2004) - Análisis modal de fallos y efectos

Elaborado por: Byron Muñoz

En la Tabla 40 se muestra el Análisis Modal de Fallos y Efectos del sistema de inducción o aspiración.

Tabla 40. Análisis Modal de Fallos y Efectos - AMEF 3.

ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS – AMFE 3

CENTRAL TERMOELÉCTRICA QUEVEDO					SISTEMA DE INDUCCIÓN O ASPIRACIÓN				B4-MH-I	
COMPONENTE	FUNCIÓN	MODO DE FALLO	EFECTO DE FALLO	CAUSA DEL FALLO	MEDIDAS DE CONTROL PREVISTAS	F	G	D	NPR	ACCIÓN CORRECTORA
Unidad de control	Emitir señales de control	Terminales quemados	Baja potencia	Fluctuaciones de amperaje	-----	3	5	6	90	-----
Filtro de aire	Impedir el paso de partículas sólidas	Taponamiento	Baja potencia	Fin de vida útil	-----	9	3	4	108	Aplica
Turbo cargador	Colaborar con la mezcla aire combustible	Taponamiento	Disminución de potencia del motor	Presencia excesiva de impurezas	-----	4	4	7	112	Aplica
Enfriador de aire	Controlar temperatura	Temperaturas elevadas	Sobrecalentamiento	Fin de vida útil	-----	4	4	5	80	-----
Bomba de aire secundario	Suministrar aire	Línea de succión tapada	Suministro insuficiente de aire	Presencia excesiva de impurezas	-----	3	4	6	72	-----
Sonda ante catalizador	Medir concentración de dióxígeno	Sensores quemados	Medición errónea	Fluctuaciones de amperaje	-----	3	2	5	30	-----
Catalizador	Minimizar expulsión de gases nocivos	Taponamiento	Eliminación excesiva de gases nocivos	Acumulación de desechos	-----	4	6	6	144	Aplica

Fuente: (NTP 679, 2004) - Análisis modal de fallos y efectos

Elaborado por: Byron Muñoz

En la Tabla 41 se muestra el Análisis Modal de Fallos y Efectos del sistema de lubricación.

Tabla 41. Análisis Modal de Fallos y Efectos - AMEF 4.

ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS – AMFE 4

CENTRAL TERMOELÉCTRICA QUEVEDO					SISTEMA DE LUBRICACIÓN				B4-MH-L	
COMPONENTE	FUNCIÓN	MODO DE FALLO	EFECTO DE FALLO	CAUSA DEL FALLO	MEDIDAS DE CONTROL PREVISTAS	F	G	D	NPR	ACCIÓN CORRECTORA
Bomba de pre lubricación	Suministrar presión	Líneas tapadas	Suministro insuficiente	Mala calidad lubricante	-----	4	5	5	100	Aplica
Bomba de lubricación	Suministrar presión	Líneas tapadas	Suministro insuficiente	Mala calidad lubricante	-----	4	8	5	160	Aplica
Enfriador de aceite	Eliminar calor	Temp. Excesiva	Sobrecalentamiento	Mala calidad	-----	3	7	7	147	Aplica
Válvula termostato	Controlar la temperatura	Taponamiento	Sobrecalentamiento	Fin de vida útil	-----	5	7	4	140	Aplica
Válvula de regulación de presión	Controlar la presión	Componente quemado	Presión insuficiente	Fluctuaciones de amperaje	-----	5	5	4	100	Aplica
Filtro de aceite	Filtrar impurezas	Taponamiento	Baja presión	Fin de vida útil	-----	9	5	3	135	Aplica
Tanque de suministro	Almacenar lubricante	Presencia de fugas	Lubricante insuficiente	Corrosión excesiva	-----	4	7	6	168	Aplica
Separador de aceite	Separar aceite del refrigerante	Mezcla de sustancias	Aceite contaminado	Corrosión excesiva	-----	4	8	7	224	Aplica
Filtro de succión	Impedir paso de partículas	Taponamiento	Baja presión	Fin de vida útil	-----	9	5	4	180	Aplica
Bomba del separador	Suministrar presión	Líneas tapadas	Baja presión	Acumulación de impurezas	-----	4	7	6	168	Aplica
Calentador para el separador	Suministrar calor	Temperatura insuficiente	Baja transferencia de calor	Mala calidad	-----	3	4	7	84	-----
Ventilador	Eliminar calor	Componente quemado	Sobrecalentamiento	Fin de vida útil	-----	6	7	6	252	Aplica

Fuente: (NTP 679, 2004) - Análisis modal de fallos y efectos

Elaborado por: Byron Muñoz

En la Tabla 42 se muestra el Análisis Modal de Fallos y Efectos del sistema de combustible.

Tabla 42. Análisis Modal de Fallos y Efectos - AMEF 5.

ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS – AMFE 5

CENTRAL TERMOELÉCTRICA QUEVEDO					SISTEMA DE COMBUSTIBLE				B4-MH-C	
					ELABORADO POR: BYRON MUÑOZ					
COMPONENTE	FUNCIÓN	MODO DE FALLO	EFECTO DE FALLO	CAUSA DEL FALLO	MEDIDAS DE CONTROL PREVISTAS	F	G	D	NPR	ACCIÓN CORRECTORA
Depósito combustible	Almacenar combustible	Presencia de fugas	Parada imprevista del motor	Corrosión excesiva	-----	3	6	6	108	Aplica
Bomba de inyección	Suministrar presión	Línea de succión tapada	Baja presión de suministro	Acumulación de impurezas	-----	5	7	5	175	Aplica
Bloque de conexión	Alojar al tren alternativo	Vibración excesiva	Daño a componentes acoplados	Ensamblaje inadecuado	-----	3	4	7	84	-----
Tubería de inyección	Conducir el combustible	Corrosión	Pérdidas de presión	Mala calidad del combustible	-----	5	7	6	210	Aplica
Válvula de inyección	Pulverizar el combustible	Taponamiento	Mala combustión	Acumulación de impurezas	-----	4	6	4	96	-----
Gobernador	Regular revoluciones máximas y mínimas	Partes quemadas	Pérdida de control de revoluciones del motor	Fluctuaciones de amperaje	-----	6	8	7	336	Aplica

Fuente: (NTP 679, 2004) - Análisis modal de fallos y efectos

Elaborado por: Byron Muñoz

Para determinar los componentes, en los cuales es necesario aplicar una acción correctora, por ser los elementos con un Número de Prioridad de Riesgos (NPR) alto, se determina la media aritmética de cada AMFE desarrollada y todos aquellos elementos que superen la misma serán considerados para aplicar estrategias de corrección. La fórmula de cálculo con base en la media aritmética de las hojas de análisis modal de efectos y fallos correspondiente a cada uno de los sistemas del motor en estudio es la siguiente:

$$\overline{\text{NPR}}_1 = \frac{\sum \text{NPR}}{n} \quad \text{ecuación 3.5}$$

Donde:

$\overline{\text{NPR}}$ = Número de Prioridad de Riesgo de un sistema del motor Hyundai 9H21/32.

n = número de componentes de cada sistema.

En la Tabla 43 se muestra un ejemplo del cálculo del NPR promedio para el sistema que tiene un valor más elevado, que corresponde al de combustible:

Tabla 43. Análisis Modal de Fallos y Efectos - AMEF 5.

Nº.	COMPONENTE	NPR
1	Depósito combustible	108
2	Bomba de inyección	175
3	Bloque de conexión	84
4	Tubería de inyección	210
5	Válvula de inyección	96
6	Gobernador	336
Total Σ NPR		1009
n		6
$\overline{\text{NPR}}$		168.17

Fuente: (NTP 679, 2004) - Análisis modal de fallos y efectos

Elaborado por: Byron Muñoz

En la Tabla 44, se presentan los resultados de los NPR para los 5 sistemas que conforman los motores Hyundai 9H21/32:

Tabla 44. Análisis Modal de Fallos y Efectos - AMEF 5.

CÓDIGO	SISTEMA	NPR	SIGNIFICADO
B4-MH-RC	Regulación y control del motor	60.82	No aplica Acción Correctora
B4-MH-E	Enfriamiento	126.25	Acción Correctora
B4-MH-I	Inducción o aspiración	90.86	No aplica Acción Correctora
B4-MH-L	Lubricación	154.83	Acción Correctora
B4-MH-C	Combustible	168.17	Acción Correctora

Fuente: (NTP 679, 2004) - Análisis modal de fallos y efectos

Elaborado por: Byron Muñoz

Al comparar los NPR entre los sistemas del motor Hyundai 9H21/32 se determina que los sistemas más críticos, porque demandan de una acción correctora, son el de combustible, lubricación y el de enfriamiento, cuyos NPR exceden el valor de 100. En estos sistemas se debería realizar una acción correctora como parte de la gestión de mantenimiento (Bestratén y Orriols 2004, p. 5).

El sistema de combustible es el más crítico de todos y está conformado por 6 componentes principales, como son: Depósito de combustible, bomba de inyección, bloque de conexión, tubería de inyección, válvula de inyección y gobernador. Los modos de fallo presentados son los siguientes: presencia de fugas, líneas de succión tapadas, vibración excesiva, corrosión, taponamiento de la válvula y partes quemadas, respectivamente para cada componente del sistema de combustible. Esto se ilustra en la Tabla 45:

Tabla 45. Resumen del AMEF del sistema de combustible.

COMPONENTE	FUNCIÓN	MODO DE FALLO	F	G	D	NPR
Depósito combustible	Almacenar combustible	Presencia de fugas	3	6	6	108
Bomba de inyección	Suministrar presión	Línea de succión tapada	5	7	5	175
Bloque de conexión	Alojar al tren alternativo	Vibración excesiva	3	4	7	84
Tubería de inyección	Conducir el combustible	Corrosión	5	7	6	210
Válvula de inyección	Pulverizar el combustible	Taponamiento	4	6	4	96
Gobernador	Regular revoluciones máximas y mínimas	Componentes quemados	6	8	7	336

Fuente: (NTP 679, 2004) - Análisis modal de fallos y efectos AMFE 5

Elaborado por: Byron Muñoz

A su vez, de entre todos los componentes del sistema de combustible, los más relevantes por la gravedad, frecuencia y detectabilidad son: la tubería de inyección, que suele presentar corrosión provocada por la mala calidad del combustible y que tiene como efecto pérdidas de presión en la conducción del combustible; el gobernador, en el que se suele presentar partes quemadas ocasionadas por las fluctuaciones de tensión (voltaje), que tienen como efecto la pérdida de control de revoluciones del motor y por lo tanto impiden que el regulador cumpla su función de regular las revoluciones máximas y mínimas. Por estas razones es imprescindible aplicar acciones correctoras al sistema de combustible.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evaluación de los resultados

La aplicación de la lista de verificación para evaluar la gestión de mantenimiento preventivo con base en la aplicación de la norma COVENIN 2500-93, que toma en cuenta cuatro criterios de evaluación del mantenimiento preventivo (determinación de parámetros, planificación, programación e implementación, control y evaluación), determinó una calificación global de 145 sobre 250, lo que equivale a 58 % de máxima posible, conforme se muestra en la Tabla 12. Este resultado implica que la gestión es deficiente, dado que no se cumplen todos los parámetros requeridos para asegurar una buena gestión. Entre las no conformidades con respecto a las normas se tienen las siguientes:

La frecuencia de revisiones de los componentes de los motores se ha establecido empíricamente. Se carece de una delimitación entre los sistemas que forman parte del mantenimiento preventivo, esto es debido a una deficiente coordinación entre las áreas de trabajo, consecuentemente no hay buena capacidad de respuesta ante las fallas presentadas. Existen órdenes de trabajo, pero no son emitidas con anticipación. Además, no se recibe el apoyo oportuno de parte de todos los colaboradores de las diferentes áreas y se carece de un estudio técnico de fallas para conocer el número de prioridad de riesgo (NPR) de los componentes de los motores, lo que no contribuye a una intervención eficiente de mantenimiento preventivo y menos en caso de fallas inesperadas. Finalmente, es de precisar que no se comprueba que se cumplan las instrucciones técnicas y el manual de procedimientos de trabajo y no se cuenta con una valoración real de la eficiencia de los resultados, sobre todo con relación a la disponibilidad.

Para el cálculo de la disponibilidad de los doce motores Hyundai 9H21/32 se consideraron los registros de tiempo de mantenimiento por averías y programado, éste último se subdivide en preventivo y correctivo. Los datos disponibles en el periodo de estudio de octubre de 2016 a marzo de 2017 se muestran en el Anexo J. A partir de los datos se calculó la disponibilidad tomando en consideración el tiempo total de operación y de mantenimiento, según la ecuación 3.3, para lo cual se encontraron los datos generales por todo el periodo de estudio, que se indican en la Tabla 24. El valor de disponibilidad general obtenida fue de 0.956 o su equivalente de 95.6 %, este es un global de todos los motores. Este valor es representativo dado que los datos de las doce unidades corresponden a una distribución normal. No obstante, el motor más crítico o de menor disponibilidad es el U59 con una disponibilidad de 93.5 %.

A la vista de los resultados obtenidos, se establece que el nivel de disponibilidad es aceptable pero no óptimo, por el hecho que se presentan considerable número de fallas inesperadas que obligan a realizar mantenimiento circunstancial por averías. Esto es evidente en el hecho que el tiempo total de mantenimiento fue de 2190 horas y el de operación de 50226 horas durante el lapso de estudio que comprende 52416 horas. Lo que representa que el 4.2 % del tiempo disponible se tuvo que realizar intervenciones de mantenimiento, de entre las cuales solo el 26 % corresponde a preventivo, a diferencia que el 74 % fue de mantenimiento correctivo programado o de rehabilitación por fallas no esperadas.

La identificación de las fallas potenciales presentadas en los componentes de los sistemas que conforman los motores Hyundai 9H/32, se realizó con sustento en el Análisis Modal de Fallos y Efectos (AMFE), como lo establece la norma NTP 679. Del estudio correspondiente, se establece que los sistemas más crítico son aquellos que exceden el valor de índice o número de prioridad de riesgo (NPR) superior a 100. En este caso, los sistemas de combustible cuyo NPR es de 168.17, el sistema de lubricación con un NPR de 154.83 y el de enfriamiento con un NPR de 126.25 se consideran crítico, por el hecho de que requieren una acción correctora para mejorar su operatividad.

Verificación de la hipótesis

Una vez concluida la investigación referente la evaluación de la gestión del mantenimiento preventivo y la disponibilidad de los motores Hyundai 9H21/32 corresponde determinar la incidencia de la gestión en la disponibilidad. Para el efecto y al disponer de los datos presentados en el Anexo J, se aplica la prueba paramétrica de Correlación de Pearson como el estadístico de prueba de hipótesis, porque los datos son numéricos. Estos datos corresponden a las horas de mantenimiento preventivo para todos los motores y a la disponibilidad general en el periodo de estudio entre octubre 2016 y marzo 2017, como se muestra en la Tabla 46. Previo el cálculo, se comprobó la normalidad de los datos mediante la prueba de Shapiro-Wilk (para menos de 50 datos).

Hipótesis nula H_0

H_0 : El tiempo programado de mantenimiento preventivo no incide en la disponibilidad de los motores Hyundai 9H21/32 de la Bahía 4 de la Central Termoeléctrica Quevedo.

Hipótesis alterna H_1

H_1 : El tiempo programado de mantenimiento preventivo incide en la disponibilidad de los motores Hyundai 9H21/32 de la Bahía 4 de la Central Termoeléctrica Quevedo.

Para calcular el valor del coeficiente de correlación de Pearson se utiliza la siguiente ecuación:

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{\sqrt{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2} \sqrt{n \sum_{i=1}^n y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)^2}}$$

Fuente: (Spiegel y Stephens 2009, p. 350).

Donde:

r coeficiente de correlación de Pearson.

n número de datos disponibles por cada variable.

x_i cada uno de los datos de la variable independiente.

y_i cada uno de los datos de la variable dependiente.

Σ sumatoria de datos.

Los datos para el cálculo son los siguientes:

Tabla 46. Disponibilidad de los motores.

No.	Motor Hyundai 9H21/32	Mantenimiento Preventivo (h) x_i	D y_i	D (%)	$x_i \cdot y_i$	x_i^2	y_i^2
1	U49	48	0.9581	95.81%	45.99	2304	0.92
2	U50	51	0.9533	95.33%	48.62	2601	0.91
3	U51	50	0.9679	96.79%	48.40	2500	0.94
4	U52	44	0.9483	94.83%	41.72	1936	0.90
5	U53	39	0.9480	94.80%	36.97	1521	0.90
6	U54	56	0.9734	97.34%	54.51	3136	0.95
7	U55	42	0.9512	95.12%	39.95	1764	0.90
8	U56	55	0.9556	95.56%	52.56	3025	0.91
9	U57	44	0.9611	96.11%	42.29	1936	0.92
10	U58	52	0.9698	96.98%	50.43	2704	0.94
11	U59	31	0.9354	93.54%	29.00	961	0.88
12	U60	57	0.9764	97.64%	55.66	3249	0.95
Σ	-	569	11.4986	-	546.0939	27637	11.0198

Fuente: Ficha técnica de control

Elaborado por: Byron Muñoz

El total de datos es de 12 datos, por lo tanto. $n=12$.

$$r = \frac{12 (546.0939) - (569)(11.4986)}{\sqrt{(12)(27637) - (569)^2} \sqrt{(12)(11.0198) - (11.4986)^2}}$$

$$r = 0.846$$

Para establecer el nivel de la correlación se debe visualizar las Tablas que determinan el nivel de dependencia de las variables numéricas. A continuación, en la Tabla 47, se muestra la información correspondiente:

Tabla 47. Coeficiente de correlación de Pearson y significado.

Interpretación: el coeficiente r de Pearson
-1.00 = correlación negativa perfecta (“A mayor X, menor que Y”, de manera proporcional. Es decir, cada vez que X aumenta una unidad, Y disminuye siempre una cantidad constante. Esto también se aplica “a menor X, mayor Y”).
-0.90 = correlación negativa muy fuerte.
-0.75 = correlación negativa considerable.
-0.50 = correlación negativa media.
-0.25 = correlación negativa débil.
-0.10 = correlación negativa muy débil.
-0.00 = no existe correlación alguna entre las variables.
+0.10 = correlación positiva muy débil.
+0.25 = correlación positiva débil.
+0.50 = correlación positiva media.
+0.75 = correlación positiva considerable.
+0.90 = correlación positiva muy fuerte.
+1.00 = correlación positiva perfecta. (“A mayor X, mayor Y” o “ a menor X, menor Y”, de manera proporcional. cada vez que X aumenta, Y aumenta siempre una cantidad constante.)

Fuente: (Hernández Sampieri, Fernandez Collado y Baptista Lucio 2010, p. 312).

La **correlación es positiva considerable**, es decir que la Gestión de Mantenimiento Preventivo incide en la disponibilidad de los motores Hyundai 9H21/32. La gráfica de la correlación es la siguiente:

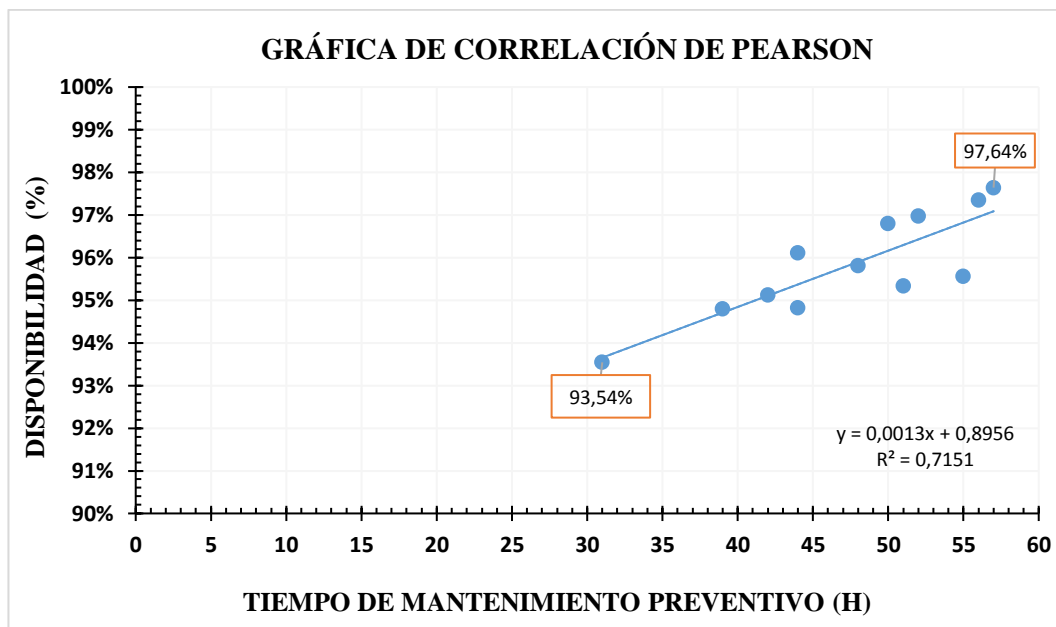


Figura 3. Gráfica de correlación mantenimiento preventivo vs. disponibilidad.

Fuente: Registros de operación de los motores Hyundai 9H21/32.

Para comprobar se calculó el coeficiente de correlación de Pearson en el software estadístico IBM SPSS. En donde se obtuvieron los siguientes resultados, como se muestra en la Tabla 48:

Tabla 48. Coeficiente de correlación de Pearson.

		Correlaciones	
		Gestión Mantenimiento Preventivo	Disponibilidad
Gestión	Correlación de Pearson	1	0,84615**
Mantenimiento Preventivo	Sig. (bilateral)		0,000521
	N	12	12
	Correlación de Pearson	0,84615**	1
Disponibilidad	Sig. (bilateral)	0,000521	
	N	12	12

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Fuente: IBM SPSS

Decisión

Según el resultado, para el Coeficiente de Correlación de Pearson $r = 0.846$, se rechaza la hipótesis nula de la investigación H_0 : “El tiempo programado de mantenimiento preventivo no incide en la disponibilidad de los motores Hyundai 9H21/32 de la Bahía 4 de la Central Termoeléctrica Quevedo”, y consecuentemente se acepta la hipótesis alterna de la investigación H_1 : **“El tiempo programado de mantenimiento preventivo incide en la disponibilidad de los motores Hyundai 9H21/32 de la Bahía 4 de la Central Termoeléctrica Quevedo”** con un margen de error o significancia de 0.00052 (0.052%).

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Una vez realizada la evaluación de la gestión de mantenimiento preventivo de acuerdo a la Norma COVENIN 2500, se obtuvo una calificación global de 551/800 o su equivalente 68.9 %. Este resultado implica que la gestión debe ser mejorada.

- Los motores Hyundai 9H21/32 de la Bahía 4 de la Central Termoeléctrica Quevedo tienen una disponibilidad general de 0.958 o 95.82 %. Al mismo tiempo se determinó que la mayor parte del tiempo destinado a tareas de mantenimiento que obligan a paralizar las operaciones son el resultado de averías y fallas presentadas. Es decir el mantenimiento preventivo propiamente dicho actualmente no asegura el buen desempeño de los componentes de los motores, especialmente en los sistemas de lubricación y combustible.

- El análisis modal de efectos y fallos (AMFE), permitió establecer el número de prioridad de riesgos (NPR), en función de la frecuencia de ocurrencia del fallo, la gravedad de las consecuencias y la probabilidad de ser detectado, mediante lo cual se identificaron los componentes de cada sistema que ameritan un mantenimiento preventivo programado. Las matrices de mantenimiento programado para los elementos con un NPR elevado, establecen las actividades a realizar a intervalos de tiempo apropiados, con el objeto de incrementar la vida útil, minimizar fallos y evitar paradas inesperadas que afectan a la operatividad de la planta

Recomendaciones

- Realizar una auditoría de la gestión de mantenimiento en la Central Termoeléctrica Quevedo, con la finalidad de determinar las causas que originan que el desempeño sea deficiente.
- Designar un responsable dentro del departamento de mantenimiento que se encargue de auditar los trabajos desarrollados referente al mantenimiento del Motor en estudio.
- Respetar tiempos de vida útil de cada uno de los componentes de acuerdo a lo estipulado por el fabricante, a menos que sea necesaria su sustitución antes del cumplimiento de la misma.

Bibliografía

AENOR, 2011. *AENOR: Norma UNE-EN 13306:2011* [en línea]. 2011. S.l.: s.n. [Consulta: 24 julio 2017]. Disponible en: <http://www.aenor.es/aenor/normas/normas/fichanorma.asp?tipo=N&codigo=N0046894>.

BESTRATÉN, M. y ORRIOLS, R., 2004. *NTP 679: Análisis modal de fallos y efectos. AMFE* [en línea]. 2004. S.l.: INSHT. [Consulta: 1 agosto 2017]. Disponible en: http://www.cso.go.cr/normativa/notas%20tecnicas%20preventivas%20-%20i.n.s.h.t/ntp_679.pdf.

COMITÉ TÉCNICO DE NORMALIZACIÓN DE LA COMISIÓN VENEZOLANA DE NORMAS INDUSTRIALES (COVENIN), 1993a. *COVENIN 2500-93. Manual para evaluar los Sistemas de Mantenimiento en la Industria* [en línea]. 1993. S.l.: s.n. [Consulta: 11 julio 2017]. Disponible en: <http://www.sencamer.gob.ve/sencamer/normas/2500-93.pdf>.

COMITÉ TÉCNICO DE NORMALIZACIÓN DE LA COMISIÓN VENEZOLANA DE NORMAS INDUSTRIALES (COVENIN), 1993b. *COVENIN 3049-93. Mantenimiento. Definiciones* [en línea]. 1993. S.l.: s.n. [Consulta: 11 julio 2017]. Disponible en: <https://olicarrillo.files.wordpress.com/2013/09/covenin-3049-93.pdf>.

GÓMEZ, G. y MÉNDEZ, G., 2011. *Propuesta para la gestión de mantenimiento de la Central Hidroeléctrica Ocaña* [en línea]. B.S. thesis. Cuenca, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana. Disponible en: <https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEWjdt9KJ45bVAhUCZCYKHRkEBPoQFgghMAA&url=http%3A%2F%2Fspace.ups.edu.ec%2Fbitstream%2F123456789%2F1099%2F20%2FUPS-CT002109.pdf&usg=AFQjCNFpTiPK6rsm6Tb-hzIHnn3GkRZRtQ>. UPS-CT002109

HERNÁNDEZ SAMPIERI, R., FERNANDEZ COLLADO, C. y BAPTISTA LUCIO, M. del P., 2010. *Metodología de la Investigación Científica* [en línea]. 5. México: McGraw-Hill. ISBN 978-607-15-0291-9. Disponible en: <http://www.casadellibro.com/libro-metodologia-de-la-investigacion-5-ed-incluye-cd-rom/9786071502919/1960006>. 736

ISERMANN, R., 2011. *Fault-Diagnosis Applications* [en línea]. Darmstadt, Germany: Springer Berlin Heidelberg. [Consulta: 24 julio 2017]. ISBN 978-3-642-12766-3. Disponible en: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-12767-0>.

SÁNCHEZ, Ó. y BUSTOS, E., 2012. *Gestión de mantenimiento computarizado en el Grupo Electrógeno ALCO de la Central Termoeléctrica Lligua de la Empresa Eléctrica Ambato* [en línea]. B.S. thesis. Riobamba, Ecuador: Escuela Superior

Politécnica de Chimborazo (ESPOCH). [Consulta: 20 julio 2017]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3065/1/25T00199.pdf>.

SPIEGEL, M. y STEPHENS, L., 2009. *Estadística*. 4. México D.F., México: McGraw-Hill. Schaum. ISBN 978-0-07-148584-5. 736

TAVARES, L., 2006. *Administración Moderna de Mantenimiento*. 1. Sao Paulo, Brasil: Novo Polo Publicaciones.

ANEXOS

ANEXO A: Fichas de Datos del Motor Hyundai 9H21/32.

Tabla 49. Características del Motor Hyundai 9H21/32

CARACTERÍSTICA	GENERALIDADES
COMBUSTIBLE PESADO	Trabaja con combustible diésel
	Puede utilizar combustible pesado de hasta 700 cst. a 50°C.
ECOLÓGICO Y ECONÓMICO	Menor consumo de combustible
	Poca emisión de óxidos de nitrógeno
	Alta relación de carrera – diámetro del cilindro
	Alta relación de compresión
	Aire de sobrecarga optimizado
CONFIABLE Y PRÁCTICO	Alta presión de inyección de combustible
	Estructura simple, robusta y ligera
	Diseño libre de tuberías
	Componentes directamente accesibles
	Sistema de alimentación modulizado

Fuente: Manual de Operación Motor Hyundai 9H21/32

Elaborado por: Byron Muñoz

Tabla 50. Especificaciones técnicas del Motor Hyundai 9H21/32

No.	ESPECIFICACIÓN	MAGNITUD
1	Configuración de los cilindros	En línea
2	Número de cilindros	9
3	Velocidad	900 RPM
4	Potencia por cilindro	200 Kw
5	Diámetro cilindro	210 mm
6	Carrera del pistón	310 mm
7	Volumen barrido	11.1 dm ³
8	Velocidad media del pistón	9.6 m/s
9	Razón de compresión	17:1
10	Potencia del motor	1800 Kw
11	Potencia del generador	1700 Kw
12	Orden de encendido	1-3-5-7-9-8-6-4-2

Fuente: Manual de Operación Motor Hyundai 9H21/32

Elaborado por: Byron Muñoz

FICHA DE DATOS A1

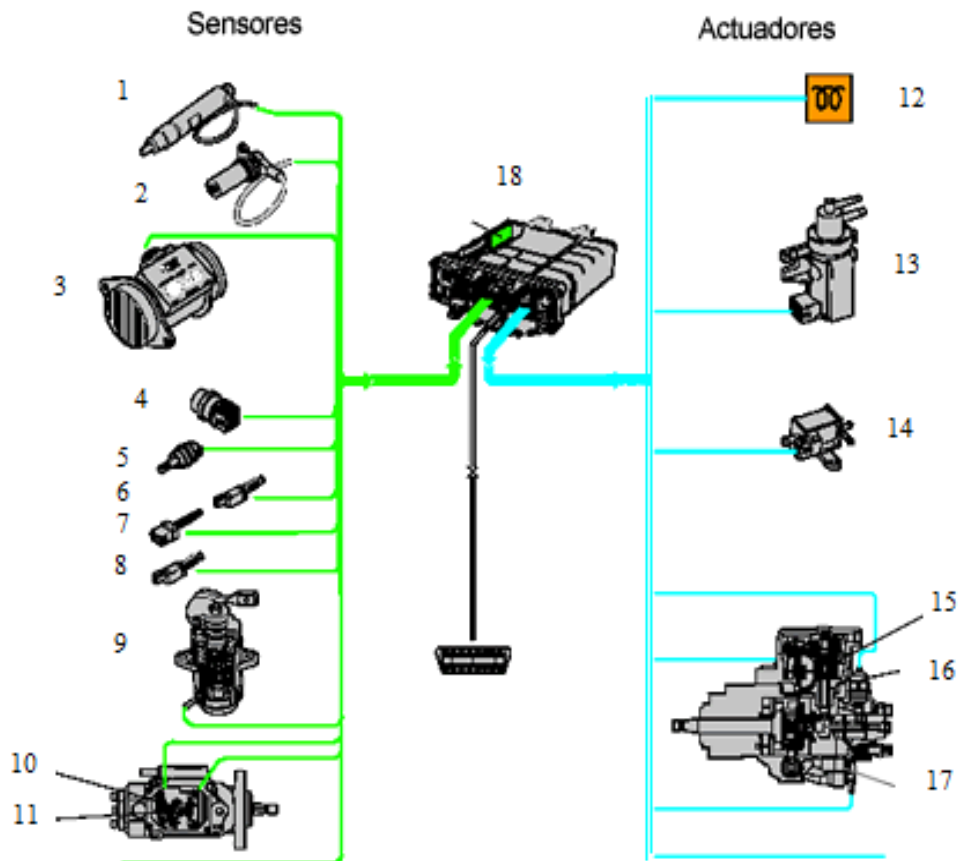
	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
	MOTOR HYUNDAI 9H21/32	
	SISTEMA:	Regulación y control del Motor
	CÓDIGO:	B4-MH-RC
	LUGAR:	Bahía 4 – Central Termoeléctrica Quevedo
FECHA:	8 de octubre de 2016	


GENERALIDADES:

Las funciones del sistema de Regulación y Control del motor son:

- Regular la velocidad de rotación
- Controlar los estados operativos.
- Visualizar los estados de funcionamiento erróneos a través de códigos de fallos.

A continuación, se indican los elementos constitutivos del sistema con su respectiva codificación.



ESPECIFICACIONES TÉCNICAS		
MOTOR HYUNDAI 9H21/32		
	SISTEMA:	Regulación y control del Motor
	CÓDIGO:	B4-MH-RC
	LUGAR:	Bahía 4 – Central Termoeléctrica Quevedo
	FECHA:	8 de octubre de 2016
No.	Componente	Código
1	Sensor de alzada de la aguja de inyección	B4-MH-RC-01
2	Sensor de rpm	B4-MH-RC-02
3	Caudalímetro	B4-MH-RC-03
4	Sensor de temperatura del motor	B4-MH-RC-04
5	Sensor de temperatura en el colector de admisión	B4-MH-RC-05
6	Contacto del pedal del embrague	B4-MH-RC-06
7	Contacto del freno	B4-MH-RC-07
8	Contacto del pedal del freno	B4-MH-RC-08
9	Sensor de posición del pedal del acelerador	B4-MH-RC-09
10	Sensor de posición del regulador de caudal de inyección	B4-MH-RC-10
11	Sensor temperatura de combustible	B4-MH-RC-11
12	Bujías de incandescencia	B4-MH-RC-12
13	Electroválvula de control de retroalimentación de gases de escape	B4-MH-RC-13
14	Electroválvula de control de la presión turbo	B4-MH-RC-14
15	Motor regulador del caudal de inyección	B4-MH-RC-15
16	Electroválvula de STOP	B4-MH-RC-16
17	Electroválvula del variador de avance	B4-MH-RC-17
18	Sensor de la presión turbo	B4-MH-RC-18

Fuente: Manual de Operación Motor Hyundai 9H21/32

Elaborado por: Byron Muñoz

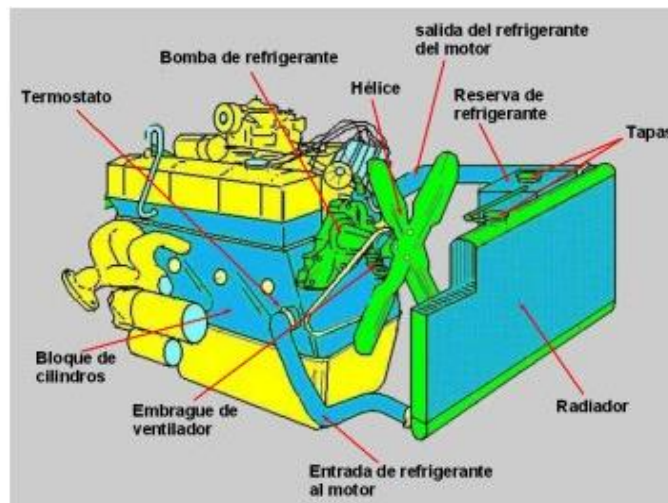
FICHA DE DATOS A2

	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
	MOTOR HYUNDAI 9H21/32	
	SISTEMA:	Enfriamiento
	CÓDIGO:	B4-MH-E
	LUGAR:	Bahía 4 – Central Termoeléctrica Quevedo
FECHA:	8 de octubre de 2016	

GENERALIDADES:

- La función principal del sistema de Enfriamiento del motor es regular la temperatura para mantenerlo en el rango de funcionamiento óptimo (82°C - 95°C).
- Está formado por dos circuitos de enfriamiento de agua:
 - Circuito de baja temperatura: opera en el rango (35°C - 45°C).
 - Circuito de alta temperatura: opera en el rango (75°C - 85°C).

A continuación, se indican los elementos constitutivos del sistema con su respectiva codificación.




No.	Componente	Código
1	Bomba de refrigerante	B4-MH-E-01
2	Hélice	B4-MH-E-02
3	Tanque de reserva del refrigerante	B4-MH-E-03
4	Tapas del tanque de reserva	B4-MH-E-04
5	Camisas de agua	B4-MH-E-05
6	Radiador	B4-MH-E-06
7	Válvula termostato	B4-MH-E-07
8	Embrague del ventilador	B4-MH-E-08

Fuente: Manual de Operación Motor Hyundai 9H21/32

Elaborado por: Byron Muñoz

FICHA DE DATOS A3

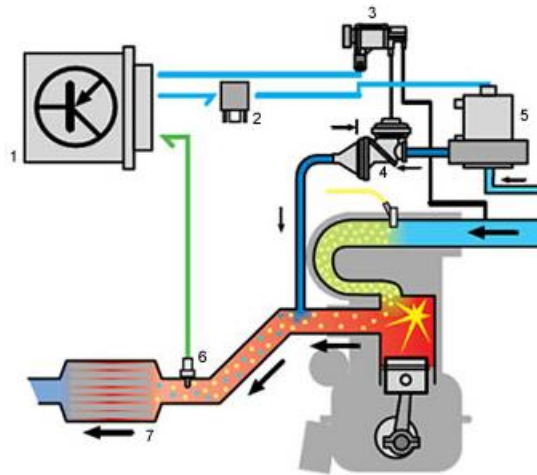
	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
	MOTOR HYUNDAI 9H21/32	
	SISTEMA:	Inducción o aspiración
	CÓDIGO:	B4-MH-I
	LUGAR:	Bahía 4 – Central Termoeléctrica Quevedo
FECHA:	8 de octubre de 2016	

GENERALIDADES:

Las funciones del sistema de Inducción o aspiración son:

- Limpiar el aire de modo que esté libre de partículas abrasivas que pueda afectar la vida del motor.
- Suministrar aire limpio a la temperatura correcta y cantidad requerida para una adecuada combustión.
- Colaborar con el enfriamiento de las válvulas y otras partes internas.

A continuación, se indican los elementos constitutivos del sistema con su respectiva codificación.



No.	Componente	Código
1	Unidad de control	B4-MH-I-01
2	Filtro de aire	B4-MH-I-02
3	Turbo cargador	B4-MH-I-03
4	Enfriador de aire	B4-MH-I-04
5	Bomba de aire secundario	B4-MH-I-05
6	Sonda ante catalizador	B4-MH-I-06
7	Catalizador	B4-MH-I-07

Fuente: Manual de Operación Motor Hyundai 9H21/32

Elaborado por: Byron Muñoz

FICHA DE DATOS A4

	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
	MOTOR HYUNDAI 9H21/32	
	SISTEMA:	Lubricación
	CÓDIGO:	B4-MH-L
	LUGAR:	Bahía 4 – Central Termoeléctrica Quevedo
FECHA:	8 de octubre de 2016	

GENERALIDADES:

Las funciones del sistema de Lubricación son:

- Reducir la fricción entre las partes móviles al separarlas con una película de aceite.
- Enfriar partes internas mediante absorción y disipación de calor.
- Sellar los aros de los pistones contra las paredes del cilindro.
- Limpiar y descargar las partículas de suciedad y desgaste de las partes móviles.
- Absorber la presión y las cargas de choque con la barrera de aceite, por ende, disminuir ruido del motor.

A continuación, se indican los elementos constitutivos del sistema con su respectiva codificación.

SISTEMA DE LUBRICACIÓN INTERNA

No.	Componente	Código
1	Bomba de pre lubricación	B4-MH-L-01
2	Bomba de lubricación	B4-MH-L-02
3	Enfriador de aceite	B4-MH-L-03
4	Válvula termostato	B4-MH-L-04
5	Válvula de regulación de presión	B4-MH-L-05
6	Filtro de aceite	B4-MH-L-06
7	Tanque de suministro	B4-MH-L-07

SISTEMA DE LUBRICACIÓN EXTERNA

No.	Componente	Código
8	Separador de aceite (Purificador)	B4-MH-L-08
9	Filtro de succión	B4-MH-L-09
10	Bomba del separador	B4-MH-L-10
11	Calentador para el separador	B4-MH-L-11
12	Ventilador	B4-MH-L-12

Fuente: Manual de Operación Motor Hyundai 9H21/32

Elaborado por: Byron Muñoz

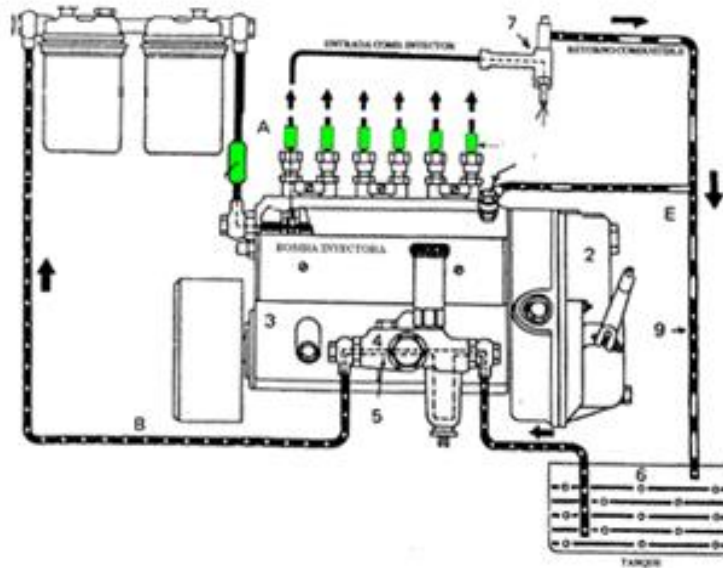
FICHA DE DATOS A5

	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
	MOTOR HYUNDAI 9H21/32	
	SISTEMA:	Combustible
	CÓDIGO:	B4-MH-C
	LUGAR:	Bahía 4 – Central Termoeléctrica Quevedo
FECHA:	8 de octubre de 2016	

GENERALIDADES:

La función principal del sistema de Combustible es regular la cantidad de combustible y transportarlo en el tiempo preciso con suficiente presión a la cámara de combustión.

A continuación, se indican los elementos constitutivos del sistema con su respectiva codificación.



SISTEMA INTERNO

No.	Componente	Código
1	Depósito combustible	B4-MH-C-01
2	Bomba de inyección	B4-MH-C-02
3	Bloque de conexión	B4-MH-C-03
4	Tubería de inyección	B4-MH-C-04
5	Válvula de inyección	B4-MH-C-05
6	Gobernador	B4-MH-C-06

Fuente: Manual de Operación Motor Hyundai 9H21/32

Elaborado por: Byron Muñoz

ANEXO B: Norma NTP 679.

<p>La norma NTP 679 versa sobre el Análisis modal de fallos y efectos (AMFE), en la misma se establecen los procedimientos para sistematizar el estudio de un proceso/producto, además determina como identificar los puntos de fallo potenciales y elaborar planes de acción tendientes en prevenir las averías inesperadas, que comúnmente generan paradas no programada de equipos o máquinas.</p> <p>Este método considera los criterios de detección, frecuencia y severidad o gravedad de las consecuencias.</p>	
Detectabilidad	Si durante el proceso se produce un fallo, se trata de averiguar cuan probable es que se lo detecte, pasando a etapas posteriores, generando los consiguientes problemas y llegando en último término a afectar al cliente.
Frecuencia	Mide la repetitividad potencial u ocurrencia de un determinado fallo, también se denomina probabilidad de aparición del fallo.
Gravedad	Califica el daño normalmente esperado que provoca el fallo en cuestión, el daño máximo esperado está ligado a la probabilidad de generación.
Número o Índice de Prioridad de riesgo (NPR)	Es el producto de la frecuencia por la gravedad y por la detectabilidad, estos factores son traducibles a un código numérico adimensional.

Fuente: (NTP 679, 2004). Análisis Modal de Fallos y Efectos. AMFE

ANEXO C: Clasificación de la Gravedad del Modo de Fallo.

GRAVEDAD	CRITERIO	VALOR
Muy Baja Repercusiones imperceptibles	No es razonable esperar que este fallo de pequeña importancia origine efecto real alguno sobre el rendimiento del sistema.	1
Baja Repercusiones irrelevantes apenas perceptibles	El tipo de fallo originaría un ligero inconveniente. Probablemente se observará un pequeño deterioro del rendimiento del sistema sin importancia. Es fácilmente subsanable.	2-3
Moderada Defectos de relativa importancia	El fallo provoca un deterioro en el rendimiento del sistema.	4-6
Alta	El fallo puede ser crítico y verse inutilizado el sistema. Produce un grado de insatisfacción elevado.	7-8
Muy Alta	Modalidad de fallo potencial muy crítico que afecta el funcionamiento de seguridad del producto o proceso y/o involucra seriamente el cumplimiento de normas reglamentarias.	9-10

Fuente: (NTP 679, 2004). Análisis Modal de Fallos y Efectos. AMFE

ANEXO D: Clasificación de la Frecuencia/Probabilidad de Ocurrencia del Modo de Fallo.

FRECUENCIA	CRITERIO	VALOR
Muy Baja Improbable	Ningún fallo se asocia a procesos casi idénticos, ni se ha dado nunca en pasado, pero es concebible.	1
Baja	Fallos aislados en procesos similares o casi idénticos. Es razonablemente esperable en la vida del sistema, aunque es poco probable que suceda.	2-3
Moderada	Defecto aparecido ocasionalmente en procesos similares o previos al actual. Probablemente aparecerá algunas veces en la vida del componente/sistema.	4-5
Alta	El fallo se ha presentado con cierta frecuencia en el pasado en procesos similares o previos procesos que han fallado.	6-8
Muy Alta	Fallo casi inevitable. Es seguro que el fallo se producirá frecuentemente	9-10

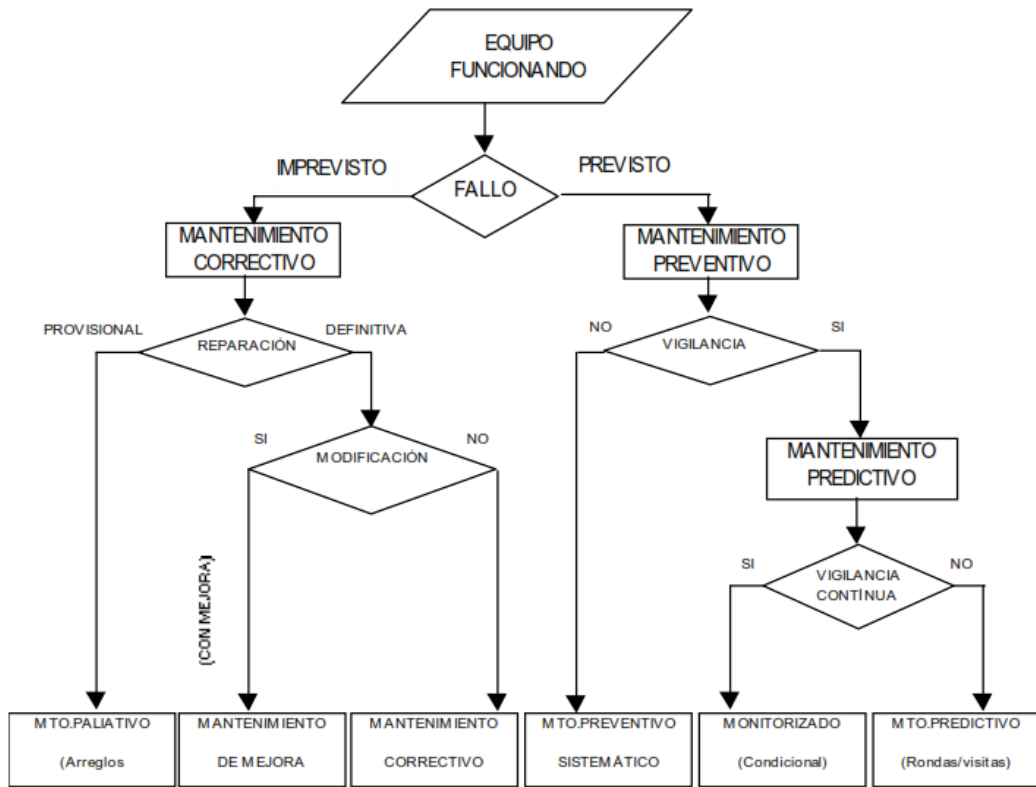
Fuente: (NTP 679, 2004). Análisis Modal de Fallos y Efectos. AMFE

ANEXO E: Clasificación de la Facilidad de Detección del Modo de Fallo.

DETECTABILIDAD	CRITERIO	VALOR
Muy Alta	El defecto es obvio. Resulta muy improbable que no sea detectado por los controles existentes.	1
Alta	El defecto, aunque es obvio y fácilmente detectable, podría en alguna ocasión escapar a un primer control, aunque sería detectado con toda seguridad a posterior.	2-3
Mediana	El defecto es detectable. Posiblemente se lo detecte en los últimos estados de producción	4-6
Pequeña	El defecto es de tal naturaleza que resulta difícil detectarlo con los procedimientos establecidos hasta el momento.	7-8
Improbable	El defecto no puede detectarse.	9-10

Fuente: (NTP 679, 2004). Análisis Modal de Fallos y Efectos. AMFE

ANEXO F: Diagrama de Decisión Tipo de Mantenimiento.



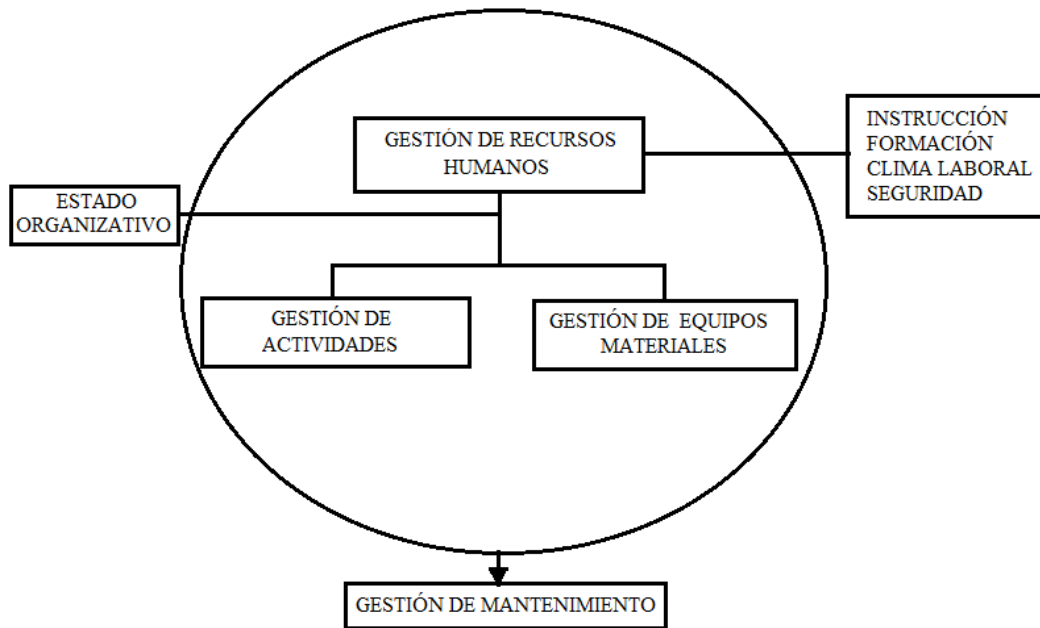
Fuente: es.slideshare.net/JorgeGamarraTolentino/libro-demantenimientoindustrial

ANEXO G: Sistemas de Mantenimiento.

COSTOS	CORRECTIVO	PREVENTIVO	PREDICTIVO
Para implementar	Bajo	Mediano	Alto
Improductivos	Alto	Mediano	Muy bajo
Tipo de parada	Altos e indefinidos	Predefinidos	Mínimo
Asociado a existencia de repuestos	Alto consumo e indefinidos	Alto consumo y definidos	Consumo mínimo

Fuente: Monchy, F. (2000). Teoría y Práctica del Mantenimiento Industrial. Barcelona. Editorial Masson.

ANEXO H: Gestión de Mantenimiento.



Fuente: Monchy, F. (1999). Teoría y Práctica del Mantenimiento Industrial. Barcelona. Editorial Masson.

ANEXO I: Tipos de Pérdidas.

PÉRDIDAS	DESCRIPCIÓN
DE LOS EQUIPOS	Fallas en los equipos principales
	Cambios y ajustes no programados
	Fallas de equipos auxiliares
	Reducción de velocidad
	Defectos en el proceso
	Arranque
RECURSO HUMANO	Gerenciales
	Movimientos
	Falta de sistemas automáticos
	Seguimiento y corrección
PROCESO PRODUCTIVO	Recursos de producción
	Tiempos de carga del equipo
	Paradas programadas

Fuente: Mora, A. (2004). Mantenimiento, Planeación, Ejecución y Control. Barcelona. Editorial Alfaomega.

ANEXO J: Registro de mantenimiento y disponibilidad en el período octubre 2016

– marzo 2017.

Mes	OCTUBRE 2016						
Motor	HCAL (h)	Mantenimiento por Averías (h)	Mantenimiento Programado (h)		HTMN (h)	HROP (h)	D
			Preventivo (h)	Correctivo (h)			
U49	744	0	24	0	24	720	0.968
U50	744	18	23	0	41	703	0.945
U51	744	0	24	0	24	720	0.968
U52	744	30	20	0	50	694	0.933
U53	744	21	0	0	21	723	0.972
U54	744	18	0	0	18	726	0.976
U55	744	72	0	0	72	672	0.903
U56	744	0	0	60	60	684	0.919
U57	744	0	0	0	0	744	1.000
U58	744	26	0	0	26	718	0.965
U59	744	48	0	0	48	696	0.935
U60	744	0	0	0	0	744	1.000
General	-	233	91	60	384	8544	0.957
Promedio	744	19.42	7.58	5.00	32.00	712.00	-

Mes	NOVIEMBRE 2016						
Motor	HCAL (h)	Mantenimiento por Averías (h)	Mantenimiento Programado (h)		HTMN (h)	HROP (h)	D
			Preventivo (h)	Correctivo (h)			
U49	720	20	0	0	20	700	0.972
U50	720	0	0	0	0	720	1.000
U51	720	29	0	0	29	691	0.960
U52	720	38	0	0	38	682	0.947
U53	720	15	15	0	30	690	0.958
U54	720	0	22	0	22	698	0.969
U55	720	0	20	0	20	700	0.972
U56	720	0	36	0	36	684	0.950
U57	720	0	0	24	24	696	0.967
U58	720	18	0	0	18	702	0.975
U59	720	29	0	0	29	691	0.960
U60	720	24	0	0	24	696	0.967
General	-	173	93	24	290	8350	0.966
Promedio	720	14.42	7.75	2.00	24.17	695.83	-

Mes	DICIEMBRE 2016						
Motor	HCAL (h)	Mantenimiento por Averías (h)	Mantenimiento Programado (h)		HTMN (h)	HROP (h)	D
			Preventivo (h)	Correctivo (h)			
U49	744	32	0	0	32	712	0.957
U50	744	48	0	0	48	696	0.935
U51	744	22	0	0	22	722	0.970
U52	744	42	0	0	42	702	0.944
U53	744	50	0	0	50	694	0.933
U54	744	0	0	0	0	744	1.000
U55	744	24	0	0	24	720	0.968
U56	744	10	0	28	38	706	0.949
U57	744	0	24	0	24	720	0.968
U58	744	12	24	0	36	708	0.952
U59	744	12	14	0	26	718	0.965
U60	744	0	32	0	32	712	0.957
General	-	252	94	28	374	8554	0.958
Promedio	744	21	7.83	2.33	31.17	712.83	-

Mes	ENERO 2017						
Motor	HCAL (h)	Mantenimiento por Averías (h)	Mantenimiento Programado (h)		HTMN (h)	HROP (h)	D
			Preventivo (h)	Correctivo (h)			
U49	744	0	24	0	24	720	0.968
U50	744	31	28	0	59	685	0.921
U51	744	0	26	0	26	718	0.965
U52	744	0	24	0	24	720	0.968
U53	744	54	0	0	54	690	0.927
U54	744	0	0	0	0	744	1.000
U55	744	21	0	0	21	723	0.972
U56	744	35	0	0	35	709	0.953
U57	744	54	0	0	54	690	0.927
U58	744	0	0	0	0	744	1.000
U59	744	32	0	0	32	712	0.957
U60	744	22	0	0	22	722	0.970
General	-	249	102	0	351	8577	0.961
Promedio	744	20.75	8.50	0.00	29.25	714.75	-

Mes	FEBERO 2017						
Motor	HCAL (h)	Mantenimiento por Averías (h)	Mantenimiento Programado (h)		HTMN (h)	HROP (h)	D
			Preventivo (h)	Correctivo (h)			
U49	672	35	0	0	35	637	0.948
U50	672	8	0	0	8	664	0.988
U51	672	39	0	0	39	633	0.942
U52	672	52	0	0	52	620	0.923
U53	672	0	24	0	24	648	0.964
U54	672	0	34	0	34	638	0.949
U55	672	0	22	0	22	650	0.967
U56	672	6	19	0	25	647	0.963
U57	672	0	0	0	0	672	1.000
U58	672	0	0	24	24	648	0.964
U59	672	36	0	0	36	636	0.946
U60	672	0	0	0	0	672	1.000
General	-	176	99	24	299	7765	0.963
Promedio	672	14.67	8.25	2.00	24.92	647.08	-

Mes	MARZO 2017						
Motor	HCAL (h)	Mantenimiento por Averías (h)	Mantenimiento Programado (h)		HTMN (h)	HROP (h)	D
			Preventivo (h)	Correctivo (h)			
U49	744	48	0	0	48	696	0.935
U50	744	48	0	0	48	696	0.935
U51	744		0	0	0	744	1.000
U52	744	20	0	0	20	724	0.973
U53	744	48	0	0	48	696	0.935
U54	744	42	0	0	42	702	0.944
U55	744	54	0	0	54	690	0.927
U56	744	0	0	0	0	744	1.000
U57	744	48	20	0	68	676	0.909
U58	744	0	28	0	28	716	0.962
U59	744	94	17	0	111	633	0.851
U60	744	0	25	0	25	719	0.966
General	-	402	90	0	492	8436	0.945
Promedio	744.00	33.5	7.50	0.00	41.00	703.00	-

Fuente: Registros de horas de operación y de paralizaciones Central Termoeléctrica Quevedo.