



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO

**“PLAN DE MANTENIMIENTO PARA LAS UNIDADES DE GENERACIÓN DE LA
CENTRAL TÉRMICA ISHPINGO TAMBOCOCHA TIPUTINI DE LA
CORPORACIÓN ELÉCTRICA DEL ECUADOR BAJO LA METODOLOGÍA DE
MANTENIMIENTO BASADO EN LA CONDICIÓN”**

TRABAJO DE TITULACIÓN
TIPO: PROYECTO TÉCNICO

Presentado para optar al grado académico de:
INGENIERA DE MANTENIMIENTO

AUTORA: JOHANA BEATRIZ SAMANIEGO PALACIOS
DIRECTOR: Ing. EDUARDO SEGUNDO HERNÁNDEZ DÁVILA. Ms.C

RIOBAMBA - ECUADOR

2019

©2019, Johana Beatriz Samaniego Palacios

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Johana Beatriz Samaniego Palacios, declaro que el presente Trabajo de Titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados. Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 11 de noviembre de 2019.



Johana Beatriz Samaniego Palacios
C.I: 060433814-5

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO

El tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación: Tipo: Proyecto Técnico, “**PLAN DE MANTENIMIENTO PARA LAS UNIDADES DE GENERACIÓN DE LA CENTRAL TÉRMICA ISHPINGO TAMBOCOCHA TIPUTINI DE LA CORPORACIÓN ELÉCTRICA DEL ECUADOR BAJO LA METODOLOGÍA DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA CONDICIÓN**”, realizado por la señorita: **JOHANA BEATRIZ SAMANIEGO PALACIOS**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Marcelo A. Jácome Valdez PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		<u>19-11-2019</u>
Ing. Eduardo S. Hernández Dávila DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN		<u>19-11-2019</u>
Ing. Cesar Daniel Arregui Toro MIEMBRO DEL TRIBUNAL		<u>19-11-2019</u>

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xii
RESUMEN.....	xiii
SUMMARY.....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1.	MARCO REFERENCIAL.....	2
1.1.	Antecedentes.....	2
1.2.	Justificación.....	4
1.3.	Problema.....	4
1.4.	Objetivos.....	5
1.4.1.	<i>Objetivo General.</i>	5
1.4.2.	<i>Objetivos Específicos:</i>	5

CAPÍTULO II

2.	MARCO TEÓRICO.....	6
2.1.	Evaluación de la gestión de mantenimiento.....	6
2.1.1.	<i>Metodología para la evaluación mediante indicadores de mantenimiento</i>	6
2.1.1.1.	<i>Tiempo medio entre fallas</i>	7
2.1.1.2.	<i>Tiempo medio para la reparación</i>	7
2.1.1.3.	<i>Disponibilidad</i>	8
2.1.1.4.	<i>Confiability</i>	8
2.2.	Centrales Térmicas.....	9
2.3.	Mantenimiento y su importancia en centrales térmicas.....	9
2.4.	Tipos de mantenimiento.....	10

2.5.	Activo físico	11
2.6.	Inventario técnico de activos	11
2.7.	Codificación y ubicación técnica de los equipos.....	12
2.8.	Contexto operacional	13
2.9.	Criticidad de los equipos	13
2.9.1.	<i>Método del Flujograma</i>	13
2.10.	Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM)	15
2.11.	Análisis de Modo de falla y efecto.....	16
2.11.1.	<i>Falla</i>	16
2.11.2.	<i>Modos de fallo</i>	16
2.11.3.	<i>Efectos de falla</i>	17
2.11.4.	<i>Consecuencias de falla</i>	17
2.12.	Tareas	18
2.13.	Logística de mantenimiento	19
2.14.	Plan de mantenimiento	19
2.15.	Factibilidad Técnica.....	19
2.15.1.	<i>Intervalo P-F</i>	20
2.16.	Sostenibilidad técnica de las tareas.....	20
2.16.1.	<i>Análisis de costos</i>	21
2.16.1.1.	<i>Distribución de Weibull</i>	22
2.16.1.2.	<i>Distribución normal</i>	25

CAPÍTULO III

3.	EVALUACIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL	27
3.1.	Descripción de la empresa	27
3.1.1.	<i>Distribución de la empresa</i>	27
3.1.2.	<i>Características técnicas de la empresa</i>	28
3.1.3.	<i>Descripción de equipos de la empresa</i>	29
3.1.3.1.	<i>Motor de combustión interna</i>	30

3.1.3.2.	<i>Generador</i>	30
3.1.3.3.	<i>Tuberías</i>	30
3.1.3.4.	<i>Intercambiadores de calor</i>	30
3.1.3.5.	<i>Panel de control</i>	30
3.2.	Valoración de la gestión de mantenimiento	31
3.2.1.	<i>Recolección de datos</i>	32
3.2.2.	<i>Cálculo del tiempo medio entre fallos y tiempo medio para la reparación</i>	32
3.2.3.	<i>Cálculo de la disponibilidad y confiabilidad</i>	34
3.3.	Plan de mantenimiento basado en la condición	37
3.3.1.	<i>Inventario técnico y reconocimiento de equipos</i>	37
3.3.2.	<i>Codificación</i>	37
3.3.3.	<i>Definición del contexto operacional</i>	38
3.3.4.	<i>Análisis de criticidad</i>	39
3.3.5.	<i>Análisis de modo de falla y efectos</i>	41
3.4.	Análisis de factibilidad técnica	44
3.4.1.	<i>Factibilidad técnica para las tareas basadas en la condición</i>	44
3.4.2.	<i>Factibilidad técnica para las tareas predeterminadas</i>	46
3.5.	Análisis de sostenibilidad	48
3.5.1.	<i>Cálculo de la confiabilidad</i>	49
3.5.2.	<i>Distribución normal</i>	51
3.5.3.	<i>Costos</i>	52
3.5.4.	<i>Tareas de mantenimiento efectivas</i>	55

CAPÍTULO IV

4.	PLAN DE MANTENIMIENTO	56
4.1.	Motor de combustión interna	56
4.2.	Generador	60
4.3.	Intercambiadores de calor	62
4.4.	Panel de control	63

4.5.	Válvulas y tuberías.....	64
4.6	Evaluación de Resultados.....	66
	CONCLUSIONES.....	71
	RECOMENDACIONES.....	72

BIBLIOGRAFÍA
ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Tipos de centrales termoeléctricas.....	9
Tabla 2-2:	Tipos de mantenimiento.....	10
Tabla 3-2:	Niveles jerárquicos según la norma ISO 14224.....	12
Tabla 4-2:	Criterios para determinar la criticidad.....	14
Tabla 5-2:	Tipos de tareas de mantenimiento.....	18
Tabla 6-2:	Formas de elaboración de un plan de mantenimiento.....	19
Tabla 7-2:	Métodos para el cálculo de los parámetros de Weibull.....	23
Tabla 8-2:	Parámetros de la distribución normal aplicados al mantenimiento.....	26
Tabla 1-3:	Parámetros de generación.....	28
Tabla 2-3:	Condiciones atmosféricas.....	28
Tabla 3-3:	Características del combustible.....	29
Tabla 4-3:	Tiempos de operación.....	33
Tabla 5-3:	Tiempos medio entre fallos y tiempos medio para reparación.....	34
Tabla 6-3:	Resultados de la evaluación.....	36
Tabla 7-3:	Codificación del equipo.....	37
Tabla 8-3:	Codificación de los equipos.....	38
Tabla 9-3:	Criticidad de los equipos de la unidad de generación.....	40
Tabla 10-3:	AMEF de un motor de combustión interna.....	42
Tabla 11-3:	Análisis del intervalo P-F.....	44
Tabla 12-3:	Tareas basadas en la condición.....	46
Tabla 13-3:	Tareas predeterminadas que desarrolla el intervalo P-F.....	46
Tabla 14-3:	Confiabilidad de los equipos según la criticidad	48
Tabla 15-3:	Cálculo del tiempo para todas las tareas.....	48
Tabla 16-3:	Cálculos iniciales para la distribución de Weibull.....	49
Tabla 17-3:	Cálculo de beta.....	50
Tabla 18-3:	Datos para el cálculo de los costos de mantenimiento.....	53
Tabla 19-3:	Costos de mantenimiento de las tareas.....	54
Tabla 20-3:	Costo de las tareas efectivas.....	55
Tabla 1-4:	Plan de mantenimiento preventivo.....	57
Tabla 2-4:	Plan de mantenimiento basado en la condición.....	60
Tabla 3-4:	Plan de mantenimiento para el generador.....	60
Tabla 4-4:	Plan de mantenimiento para el intercambiador de calor de aceite.....	62

Tabla 5-4:	Plan de mantenimiento para el intercambiador de calor de agua.....	63
Tabla 6-4:	Plan de mantenimiento para el panel de control.....	64
Tabla 7-4:	Plan de mantenimiento para las válvulas y tuberías.....	64
Tabla 8-4:	Comparación de disponibilidad unidad 38.....	65
Tabla 9-4:	Comparación de disponibilidad unidad 56.....	66
Tabla 10-4:	Comparación de disponibilidad unidad 57.....	66
Tabla 11-4:	Comparación de disponibilidad unidad 47.....	67
Tabla 12-4:	Comparación de disponibilidad unidad 37.....	68
Tabla 13-4:	Porcentaje de variación de la disponibilidad	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2:	Tipos de mantenimiento.....	10
Figura 2-2:	Flujograma para determinar la criticidad.....	14
Figura 3-2:	Las siete preguntas del RCM.....	15
Figura 4-2:	Características de los efectos de falla.....	17
Figura 5-2:	Intervalo P-F.....	20
Figura 1-3:	Distribución de la empresa.....	28
Figura 2-3:	Motor de combustión interna y equipos auxiliares.....	30
Figura 3-3:	Panel de control.....	31
Figura 4-3:	Flujograma para determinar la criticidad.....	41

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3:	Porcentaje de los indicadores de la evaluación	36
Gráfico 1-4:	Variación de la disponibilidad de la unidad 38.....	65
Gráfico 2-4:	Variación de la disponibilidad de la unidad 56.....	66
Gráfico 3-4:	Variación de la disponibilidad de la unidad 57.....	67
Gráfico 4-4:	Variación de la disponibilidad de la unidad 47.....	67
Gráfico 5-4:	Variación de la disponibilidad de la unidad 37.....	68
Gráfico 6-4:	Variación de la disponibilidad de las unidades.....	69

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** Contexto Operacional
- ANEXO B:** AMFE
- ANEXO C:** Costo de la Empresa
- ANEXO D:** Tablas de Distribución Normal
- ANEXO E:** Cálculos mediante Weibull y Distribución Normal

RESUMEN

El Mantenimiento Basado en Condición es una estrategia de mantenimiento que fundamenta sus resultados en el diagnóstico previo de los equipos, y obtiene una serie de beneficios tales como optimizar la vida útil, reducir tareas y costes de mantenimiento, y aumentar disponibilidad, fiabilidad y seguridad de los activos y sistemas, razón por la cual se decidió desarrollar un plan de mantenimiento para las unidades de generación de la central térmica Ishpingo Tambococha Tiputini de la corporación eléctrica del Ecuador bajo la metodología de mantenimiento basado en la condición, para lo cual en primera instancia se evaluó el mantenimiento aplicado a las unidades HHI Hyundai 9H21/32 instaladas en el bloque 43 ITT, utilizando indicadores de disponibilidad y confiabilidad obtenidos del software de mantenimiento IFS de CELEC EP, luego se elaboró un inventario jerárquico con codificación mediante la norma ISO 14224, y se aplicó el método de flujograma para establecer la criticidad de los activos que posteriormente se sometieron al análisis de modos de fallas y efectos (AMFE), y en base al resultado de los análisis realizados y con sustento de un estudio de factibilidad y sostenibilidad técnica de implementación, se determinaron en función de costes las tareas de mantenimiento correctivas, preventivas y basadas en la condición necesarias, las constantes de las ecuaciones matemáticas utilizadas se obtuvieron tras aplicar las distribuciones estadísticas Normal y Weibull. La implementación del plan de mantenimiento planteado y socializado con el personal de mantenimiento de CELEC EP fue viable en cuanto a recursos necesarios y frecuencias de mantenimiento, se recomienda realizar una evaluación anual del plan mediante los indicadores aplicados, plantear metas de confiabilidad y disponibilidad, observar el comportamiento de los indicadores, y tomar las decisiones para mejora, además se sugiere el desarrollo de documentación de mantenimiento que registre información específica referente a fallos.

Palabras Clave: <CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS DE LA INGENIERÍA>, < PLAN DE MANTENIMIENTO>, <MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD >, <ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTO DE FALLAS >, <IFS (SOFTWARE)>, <LOGÍSTICA DE MANTENIMIENTO>, <WEIBULL>.



ABSTRAC

The objective of this present titration work was to develop a maintenance plan for the generation units of the Ishpingo Tambococha Tiputini thermal power plant of the electrical corporation of Ecuador under the condition-based maintenance methodology, for which in the first instance the applied maintenance was evaluated to the Hyundai 9H21 /32 HHI units installed in block 43 ITT, using availability and reliability indicators obtained from the IFS maintenance software of CELEC EP. then a hierarchical inventory with coding was prepared using the technical standards regulation ISO 14224, and the flowchart method was applied to establish the criticality of the assets that were subsequently subjected to the analysis of failure modes and effects (AMFE), and based on the result of the analyzes carried out and based on a feasibility study and technical sustainability of implementation, determined in terms of costs the corrective maintenance tasks, preventive and based on the necessary condition, the constants of the mathematical equations used were obtained after applying the Normal and Weibull statistical distributions. The implementation of the maintenance plan proposed and socialized with the maintenance staff of CELEC EP was feasible in terms of necessary resources and maintenance frequencies, it is recommended to perform an annual assessment of the plan through the indicators applied, set reliability and availability goals, observe the behavior of the indicators, and making decisions for improvement, it is also suggested the development of maintenance documentation that records specific information regarding failures.

Keywords: <ENGINEERING TECHNOLOGIES AND SCIENCES, <MAINTENANCE PLAN>, <MAINTENANCE FOCUSED ON RELIABILITY> <ANALYSIS OF FAILURES MODES AND EFFECTS>, <IFS (SOFTWARE)>, <MAINTENANCE LOGISTICS>,<WEIBULL>.



INTRODUCCIÓN

La producción de petróleo está presente en lugares remotos en el Ecuador, en consecuencia, la energía eléctrica para sus labores diarias debe ser provista por generadores de combustión interna, por lo tanto, surge la necesidad de disponer esta maquinaria, de tener una disponibilidad y confiabilidad alta, para cumplir con los requerimientos diarios de energía eléctrica para las actividades petrolíferas.

El combustible utilizado para producir la electricidad tiene un papel importante debido a que, el contenido de este posee varios elementos que deben ser eliminados para que no afecten a los elementos internos de los generadores.

El mantenimiento es de suma importancia dentro de las industrias, debido a que, cuando es planificado y programado de forma adecuada evita pérdidas económicas y tiempos muertos en las empresas, debido a fallos imprevistos, los cuales son controlados mediante técnicas preventivas y basadas en la condición, que aseguran que el activo cumpla con sus funciones asignadas.

Analizar las tareas de mantenimiento a implementarse, sirve para observar cual metodología representa un costo-beneficio considerable para la empresa, para lo cual, se utiliza análisis de costos para observar cómo se comportan los costos de mantenimiento correctivo, preventivo y basado en la condición. Luego de analizar cuál de estos costos es el menor se toma la decisión de su implementación.

La evaluación del mantenimiento se debe realizar de forma periódica para observar los puntos fuertes, para los cuales se determina metas mensuales que deben ser cumplidas y para los puntos débiles, se debe buscar acciones correctivas que ayuden a mejorar estos aspectos.

CAPÍTULO I

1. MARCO REFERENCIAL

1.1. Antecedentes

CELEC EP es una Empresa Pública y por su ámbito de acción, se la define como un servicio público estratégico.

Su finalidad es la provisión de servicio eléctrico y éste debe responder a los principios de obligatoriedad, generalidad, uniformidad, responsabilidad, universalidad, accesibilidad, regularidad, continuidad y calidad.

El Art. 326 de la Constitución de la República de Ecuador en su numeral 15 establece que: “Se prohíbe la paralización de los servicios públicos de (...), energía eléctrica, (...).”.

La Norma Técnica No. 408-32, de la Contraloría General del Estado, aplicable a las Empresas Públicas, señala:

"Mantenimiento. Las entidades prestarán el servicio de mantenimiento a los bienes y obras públicas a su cargo, con el fin de que éstas operen en forma óptima durante su vida útil y puedan obtenerse los beneficios esperados, (...)"

A consecuencia de la norma indicada se determina que constituye una obligación de las Empresas Públicas el ejecutar el mantenimiento a los bienes y obras públicas a su cargo, el fin de que éstas operen en forma óptima y puedan obtenerse los beneficios esperados.

El Plan Estratégico de Gestión de Mantenimiento de la Corporación Eléctrica del Ecuador establece que:

“MISIÓN DE LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO”

Garantizar que los activos físicos de la Corporación Eléctrica del Ecuador, CELEC EP,

(instalaciones, sistemas y equipos), tengan la máxima Disponibilidad, Confiabilidad y Mantenibilidad a un costo óptimo, a fin de obtener la más alta productividad bajo condiciones seguras y de continuidad del servicio.”

Con fecha 18 de septiembre del 2017 se suscribe el Convenio Marco de Cooperación Interinstitucional que celebra la Empresa Pública de Exploración y Explotación de Hidrocarburos PetroAmazonas EP y la Empresa Pública Estratégica Corporación Eléctrica del Ecuador EP, el mismo en la cláusula tercera establece:

“TERCERA: OBJETO Y ALCANCE. -

El presente Convenio Marco (en adelante el "Convenio") tiene por Objeto establecer las acciones de cooperación mutua entre PETROAMAZONAS EP, y CELEC EP para procurar el óptimo suministro de Energía Eléctrica para el desarrollo de actividades Hidrocarburíferas de PETROAMAZONAS EP, de manera confiable y económicamente eficiente, mediante la ejecución conjunta de las Actividades descritas dentro del Anexo 1 del presente instrumento, que en adelante se denominara como los "Proyectos", así como otras que en el futuro se puedan establecer de mutuo acuerdo.

Con el propósito de instrumentar este convenio marco. "Las Partes' suscribirán Convenios Específicos para la ejecución de cualquiera de los Proyectos citados en el Anexo 1, para lo cual CELEC EP, de manera previa, solicitará al Operador Nacional de Electricidad “CENACE” su pronunciamiento técnico, así también, CELEC EP tramitará las correspondientes autorizaciones ante la Agencia de Regulación y Control de Electricidad del Ecuador “ARCONEL”, esto último, con el propósito de que dichas entidades viabilicen su implementación.”

Con fecha 22 de marzo del 2018 se suscribe el Convenio Específico que celebran la Empresa Pública de Exploración y Explotación de Hidrocarburos Petroamazonas EP y la Empresa Pública Estratégica Corporación Eléctrica del Ecuador CELEC EP para el desmontaje, movilización y reubicación de grupos generadores de combustión interna HHI Hyundai 9h21/32 de la Central de Generación Quevedo con una potencia efectiva de 42 MW para el suministro de electricidad en campos operados por Petroamazonas EP.

Conforme al cronograma anexo al convenio específico, se estima que la nueva Central ITT ubicada en el campo de exploración y explotación del mismo nombre, inicie sus operaciones comerciales la primera semana de octubre del 2018.

El combustible con el que operarán las unidades instaladas es el crudo extraído en el mismo

campo, con un grado API de 14, lo que hace necesario la modificación del Plan de Mantenimiento actual aplicado en la Central Quevedo, de manera que se establezcan las tareas respectivas de mantenimiento y recursos acorde a las nuevas condiciones de operación a las que van a estar sometidas las unidades que serán trasladadas al Campo ITT.

1.2. Justificación

El presente proyecto técnico está destinado a implementarse en las instalaciones de la nueva Central ITT, como estudiante de la carrera de Ingeniería de Mantenimiento, se propone actualizar el Plan de Mantenimiento vigente para las unidades HHI Hyundai 9H21/32, utilizando la metodología de Mantenimiento Basado en Condición, que garantice que los grupos electrógenos tengan la máxima disponibilidad y confiabilidad, estableciendo tareas que ayuden a que el activo desarrolle su contexto operacional de acuerdo a los estándares de funcionamiento definido inicialmente para que la central preste el servicio conforme a lo establecido en el Convenio Específico.

El presente proyecto de titulación sirve de guía y ayuda para la correcta planificación logística y técnica en lo que respecta repuestos, materiales, herramientas y personal necesario para mantenimiento de las unidades que conforman la Central ITT.

1.3. Problema

Una vez revisado el Plan de Mantenimiento de la Central Quevedo para las unidades HHI Hyundai 9H21/32 y luego de su respectivo análisis, se identifica que los procedimientos establecidos que se ejecutan actualmente en esta Central no satisfacen del todo las necesidades de mantenimiento y conservación de las unidades una vez que se encuentren operando en el Campo ITT, debido a que el contexto operacional es distinto, principalmente por el factor de planta, el tipo de combustible, la cantidad de azufre y vanadio y el medio ambiente oriental, detectando así que el problema principal, es la diferencia operacional de las dos centrales.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General.

- Implementar un plan de mantenimiento para las unidades de generación de la central térmica Ishpingo Tambococha Tiputini de la corporación eléctrica del Ecuador bajo la metodología de mantenimiento basado en la condición.

1.4.2. Objetivos Específicos:

- Evaluar el Plan de Mantenimiento vigente de las unidades HHI Hyundai 9H21/32 de la central Quevedo.
- Establecer el inventario jerárquico de las unidades de generación.
- Analizar la criticidad de los equipos.
- Analizar los modos y efectos de falla de las unidades
- Hacer un estudio de factibilidad y sostenibilidad técnica de las tareas

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Evaluación de la gestión de mantenimiento

Para observar la efectividad de la gestión de mantenimiento se realizan evaluaciones con el propósito de medir las metas alcanzadas, Parra y Crespo la definen como: “una revisión sistemática de una actividad o situación para evaluar el cumplimiento de las reglas o criterios objetivos a que aquellas deben someterse” (Parra y Crespo 2012).

Evaluar la gestión de mantenimiento muestra a la organización el alcance de los objetivos y metas trazados inicialmente, además indica posibles puntos de mejora y trabajos sin culminar.

Existen múltiples metodologías que persiguen este fin, la elección de cual utilizar va a estar ligado a la información existente en la organización a evaluar.

2.1.1. Metodología para la evaluación mediante indicadores de mantenimiento

Esta actividad es realizada por múltiples metodologías, una de ellas es mediante indicadores, “que su selección debe estar en correspondencia con el estado real de los procesos, el desempeño, objetivos y estrategias de la organización, lo cual será una fuente confiable para tomar decisiones en base a los problemas o deficiencias encontradas” (Capotel et.al; 2016)

Azoy 2014, propone el desarrollo de una metodología para la evaluación de la gestión de mantenimiento mediante los siguientes indicadores:

Tiempo medio entre Fallas, Tiempo medio para la reparación, Disponibilidad de los Equipos y Costo para la eliminación de las fallas.

Para el presente trabajo se utilizará los siguientes indicadores:

2.1.1.1. Tiempo medio entre fallas

El tiempo medio entre fallos (TMEF) se define como “el tiempo entre dos fallos consecutivos de un ítem” (NE 13306, 2011).

Para realizar su cálculo se utilizan la fórmula, la cual es extraída de la norma EN 61703.

$$TMEF = \frac{\sum_{i=1}^n TEF_i}{n} \quad (1)$$

De donde:

- TEF es el tiempo entre fallos en un periodo de tiempo,
- n es el número de fallas

2.1.1.2. Tiempo medio para la reparación

El tiempo medio para la reparación es el tiempo promedio utilizado para atender una actividad de tipo correctiva, influyendo el tiempo logístico y administrativo.

La ecuación para el cálculo del tiempo medio para la reparación, que es expuesta en la norma EN 61703, es:

$$MTTR = MUFT + MAD + MLD + MACM \quad (2)$$

Donde:

- MUFT es tiempo medio de avería no detectada;
- MAD es el retraso administrativo medio;
- MLD es el retraso logístico medio;
- MACMT es el tiempo medio de mantenimiento correctivo activo

Para el cálculo de MACMT se define la ecuación (3) de la norma

$$MACMT = MTD + MRT \quad (3)$$

De donde:

- MTD es el retraso técnico medio;
- MRT es el tiempo de reparación medio

Reemplazos la ecuación 3 en la 2 y tenemos:

$$MTTR = MUFT + MAD + MLD + MTD + MRT \quad (4)$$

2.1.1.3. Disponibilidad

La disponibilidad se define como “Capacidad de un elemento de encontrarse en un estado para desarrollar una función requerida bajo unas condiciones determinadas en un instante dado o bien durante un intervalo de tiempo determinado, asumiendo que se proveen los recursos externos requeridos” (EN 13006, 2011).

La norma EN 15341 define la ecuación para efectos de cálculo de la disponibilidad.

$$Disponibilidad = \frac{TD}{TR} = \frac{TD}{TD+TID} \quad (5)$$

De donde:

- TD es el tiempo disponible;
- TR es el tiempo requerido y
- TID es el tiempo de indisponibilidad.

2.1.1.4. Confiabilidad

La confiabilidad es la “probabilidad de que el ítem sobrevivirá durante un periodo de tiempo, t .” (ISO 14224, 2016). Cuya fórmula de cálculo viene dada por la ecuación matemática expuesta en la norma EN 61703.

$$R(t) = e^{-\lambda \cdot x} \quad (6)$$

De donde:

- λ es la tasa de fallos que viene expresada por la ecuación.

$$\lambda = \frac{1}{TMEF} \quad (7)$$

- x es el tiempo de funcionamiento

Además, se deberá constatar que se cumpla las condiciones siguientes:

$$F(t) + R(t) = 1$$

$$0 \leq R(T) \leq 1$$

Siendo $F(t)$ conocido como desconfiabilidad.

2.2. Centrales Térmicas

Existen múltiples maneras de generar electricidad, una de ellas es a través de las centrales térmicas o termoeléctricas, las cuales transforman energía térmica en energía eléctrica, mediante varios transformadores, componentes eléctricos y mecánicos que ayuden a este fin.

González explica que, las centrales termoeléctricas se clasifican observando si el combustible este o no en contacto con el fluido de trabajo, como se indica en la Tabla 1-2.

Tabla 1-2: Tipos de centrales termoeléctricas

Tipo de Central Termoeléctrica	Descripción
Unidad de Combustión Externa	El combustible que se quema (gas natural, carbón, Fueloil, gasoil, biocombustible, etc.) No entra en contacto con el fluido de trabajo (agua). Esto sucede en las centrales térmicas de biomasa.
Unidad de Combustión Interna	El combustible (gas natural, gasoil, biocombustible, etc.) se quema en una atmósfera de aire, siendo los gases resultantes el fluido de trabajo. Esto sucede en las centrales Turbo Gas y las unidades térmicas de pistón (motores Otto y Diésel).

Fuente: González, 2014

Realizado: Samaniego, Johana 2019

2.3. Mantenimiento y su importancia en centrales térmicas

El mantenimiento en la actualidad está tomando mayor importancia dentro de las empresas. Pérez 2008, indica que la importancia de la planificación del mantenimiento en las centrales de generación eléctrica toma fuerza en que se necesita realizar paradas planificadas cada cierto intervalo de tiempo para realizar inspecciones y revisiones, para tratar de asegurar que no se susciten fallos durante el funcionamiento. Además, expone, que la consecuencia de una parada imprevista repercute en aspectos como: interrupción del suministro de electricidad, pérdidas económicas, afectaciones al sistema interconectado y reducción del nivel de satisfacción del cliente.

“La confiabilidad y disponibilidad están condicionadas, no sólo por el diseño y la calidad de su material, sino por la calidad de la operación (los problemas técnicos van a estar en gran medida condicionados por la forma de operar) y por el mantenimiento que se realice” (Fernández 2015). Por lo tanto, el mantenimiento y la operación de las centrales eléctricas deben estar bien controlados para que los activos que la conforman alcancen su vida útil esperada.

Por lo que, el mantenimiento debe ser delimitado y definido puntualmente, para de esta manera cumplir con los objetivos organizacionales de la empresa. La norma EN 13306:2011, define a mantenimiento como la “combinación de todas las acciones técnicas, administrativas y de gestión realizadas durante el ciclo de vida de un elemento, destinadas a conservarlo o a devolverlo a un estado en el que pueda desempeñar la función requerida” (EN 13306, 2011), mientras que Huertos lo describe como “el control constante de las instalaciones (en el caso de una planta) o de los componentes (en el caso de un producto), así como el conjunto de trabajos de reparación y revisión necesarios para garantizar el funcionamiento regular y el buen estado de conservación de un sistema en general” (Huertos, 2011).

2.4. Tipos de mantenimiento

La división clásica del mantenimiento indica dos divisiones principales según la norma EN 13306: el mantenimiento preventivo y correctivo; Mientras Sabugal indica que la clasificación del mantenimiento es en: Planificado y correctivo; como se visualiza en la Figura 1-2.



Figura 1-2: Tipos de mantenimiento

Fuente: González, 2014

Realizado por: Samaniego, Johana, 2019

En la Tabla 2-2, se indican las definiciones de cada uno de los tipos de mantenimiento:

Tabla 2-2: Tipos de mantenimiento

Tipos de mantenimiento	Descripción	
	Norma EN 13306	Sabugal
Mantenimiento Correctivo	Mantenimiento que se realiza después del reconocimiento de una avería y que está destinado a poner a un elemento en un estado en que pueda realizar una función requerida.	Se denomina así al mantenimiento que interviene para reparar y corregir averías y mal funciones que tienen lugar en la planta

Continuación Tabla 2-2

Mantenimiento Preventivo	Mantenimiento que se realiza a intervalos predeterminados o de acuerdo con criterios establecidos, y que está destinado a reducir la probabilidad de fallo o la degradación del funcionamiento de un elemento.	
Mantenimiento Programado	Mantenimiento que se realiza de acuerdo con un programa de calendario establecido o un número establecido de unidades de utilización	Es aquél cuyos trabajos se ejecutan de forma periódica, estableciéndose la periodicidad en función de: horas de funcionamiento, número de maniobras, número de arranques y paradas, número de disparos y combinación de estos.
Mantenimiento Basado en la condición	Mantenimiento preventivo que incluye una combinación de monitorización de la condición y/o la inspección y/o los ensayos, análisis y las consiguientes acciones de mantenimiento.	Se apoya en la tecnología moderna para diagnosticar el estado de una máquina o de un proceso, analizar la tendencia de evolución de los parámetros que lo caracterizan y organizar intervenciones correctivas cuando hay riesgo de avería o el deterioro da lugar a pérdidas de eficiencias que justifiquen el coste y la oportunidad de la intervención. A este tipo de mantenimiento también se le conoce como <i>Mantenimiento Basado en la Condición</i> (MBC)

Fuente: González, 2014

Realizado por: Samaniego, Johana, 2019

2.5. Activo físico

Para generar ingresos económicos, las empresas poseen máquinas que transforman la materia prima en productos elaborados o servicios; la norma EN 16646 define al activo físico como: “Bien que tiene un valor potencial o actual para una organización.” (EN:16646, 2015). Las actividades de mantenimiento son realizadas a este nivel de jerarquía.

2.6. Inventario técnico de activos

El paso inicial para una adecuada planificación de mantenimiento es el levantamiento de datos que ayude a tener un control sobre los activos presentes en una empresa u organización. La norma ISO 14224, explica sobre la taxonomía que “es una clasificación sistemática de ítems en grupos genéricos basados en factores posiblemente comunes a varios ítems (ubicación, uso, subdivisión de equipos, etc.)” (ISO 14224, 2016), mientras que la norma EN 13306 conceptualiza el inventario de elementos como el “registro de los elementos individualmente identificados junto con su ubicación” (EN 13306, 2011).

La norma ISO 14224, explica sobre una jerarquía de 9 niveles, de donde los primeros 4 son destinados a la organización y los 5 restantes son ocupados para mantenimiento. Los niveles jerárquicos expuestos en la norma ISO 14224 se describen en la Tabla 3-2.

Tabla 3-2: Niveles jerárquicos según la norma ISO 14224

Categoría Principal	Nivel Taxonómico	Jerarquía de taxonomía	Definición
Datos de uso/ubicación del equipo	Nivel 1	Industria	Tipo de industria Principal
	Nivel 2	Categoría de Negocio	Tipo de negocio o flujo de procesos
	Nivel 3	Categoría de Instalación	Tipo de instalación
	Nivel 4	Categoría de Planta/Unidad	Tipo de planta/unidad
	Nivel 5	Sección/Sistema	Sección/sistema principal de la planta
Subdivisión de equipos	Nivel 6:	Clase de Equipo/Unidad	Clase de equipos similares. Cada clase de equipo contiene unidades de equipos
	Nivel 7:	Sub-unidad	Un subsistema necesario para la función del equipo
	Nivel 8	Componente/Ítem Mantenible	El grupo de piezas del equipo que comúnmente se mantienen, reparar o restauran como un todo
	Nivel 9:	Pieza o Elemento	Una parte individual del equipo

Fuente: ISO 14224

Realizado por: Samaniego, Johana, 2019

2.7. Codificación y ubicación técnica de los equipos

“La codificación significa en grandes rasgos dar a las máquinas y equipos una dirección donde ubicarlas y un nombre con el cual identificarlas.” (Castro, 2006). La información proporcionada ayuda a controlar y conocer acerca de todas las instalaciones de una empresa u organización.

Mientras que, la ubicación técnica de los equipos es la que se encarga de representar un parte o área del sistema de una empresa, en la cual es posible instalar un objeto (equipo); además indican la dirección o emplazamiento donde se encuentran estos. Las ubicaciones técnicas se crean de manera jerárquica de acuerdo a múltiples criterios como: funciones del activo, relativos al proceso en el cual se hallan y espacio o área donde se encuentran.

2.8. Contexto operacional

Se define como contexto operacional a “las circunstancias bajo las cuales se espera que opere el activo físico o sistema”. (SAE-JA:1011 1999). Además se prevé el modo de operación que es la “forma en la que un activo físico funciona y se utiliza durante todo su ciclo de vida determinado por el número de unidades de utilización (horas, arranques/paradas, transiciones)” (EN:16646, 2015). Cuando un fallo persiste en un equipo, se evalúa las condiciones operativas del mismo, para determinar si es la causante del problema se procede a diseñar procedimientos para mejorar este aspecto.

2.9. Criticidad de los equipos

La determinación de la criticidad ayuda al personal de mantenimiento a priorizar los recursos destinados para su manutención, por consiguiente, “es una metodología que permite jerarquizar sistemas, instalaciones y equipos, en función de su impacto global, con el fin de facilitar la toma de decisiones” (Mendoza, 2005).

Existen múltiples metodologías para la determinación de la criticidad, las cuales son:

- Método del flujograma de análisis de criticidad
- Modelo de criticidad semicuantitativo “CTR” (Criticidad Total por Riesgo)
- Modelo de criticidad cuantitativo “AHP” (Proceso de Análisis Jerárquico)
- Método de criticidad de Ciliberti
- Estándar militar MIL-STD-882D
- Método de los puntos
- Método del mantenimiento basado en la criticidad
- Criticidad para propósitos de mantenimiento Norsok Standard Z-008
- Criticidad basada en API581

2.9.1. Método del Flujograma

Existen varias metodologías que emplean flujogramas para determinar la criticidad de los equipos, para este caso, se va a estudiar este método como se indica en la Figura 2-2:

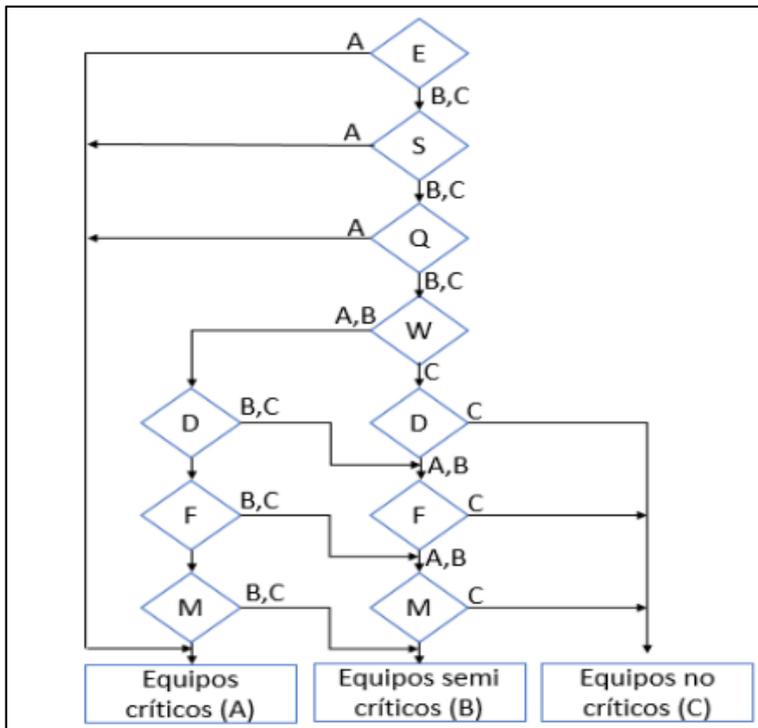


Figura 2-2: Flujograma para determinar la criticidad

Fuente: Parra y Crespo

Realizado por: Samaniego, Johana, 2019

En la Tabla 4-2, se describe cada criterio junto a su respectiva calificación.

Tabla 4-2: Criterios para determinar la criticidad

Criterio	Calificación
Medio Ambiente (E)	Categoría A: cuando la empresa debe recurrir a entes públicos por problemas que afectan a la salud de las personas y el medio ambiente.
	Categoría B: cuando la empresa soluciona el problema internamente.
	Categoría C: cuando la falla no representa ningún tipo de afección.
Seguridad (S)	Categoría A: cuando la falla produce accidentes que provocan ausencia laboral temporal o total en el lugar de trabajo.
	Categoría B: cuando la falla provoca daños menores al personal de trabajo.
	Categoría C: cuando la falla no provoca afecciones al personal.
Calidad (Q)	Categoría A: cuando la falla producen un impacto externo importante o dar una imagen negativa a la empresa.
	Categoría B: cuando la falla produce una consecuencia interna
	Categoría C: cuando la falla no ocasiona ningún impacto en la calidad.
Tiempo de trabajo de un activo (W)	Categoría A: cuando el activo trabaja tres turnos diarios o necesita muchas horas extras para ser reparado.
	Categoría B: cuando el activo trabaja dos turnos diarios o necesita un considerable número de horas extras para ser reparado.
	Categoría C: cuando el activo trabaja un turno diario o necesita un reducido número de horas extras para ser reparado.

Continuación Tabla 4-2

Entrega (D)	Categoría A: cuando la falla produce el paro de toda la fábrica.
	Categoría B: cuando la falla produce el paro de una sola línea productiva.
	Categoría C: cuando la falla no produce paros significativos.
Fiabilidad (F)	Categoría A: cuando la frecuencia de falla es menor a cinco horas
	Categoría B: cuando la frecuencia de fallo esta entre cinco y diez horas.
	Categoría C: cuando la frecuencia de fallo es mayor a diez horas
Mantenibilidad (M)	Categoría A: cuando se necesita un tiempo medio de reparación mayor a 90 minutos.
	Categoría B: cuando se necesita un tiempo medio de reparación entre 45 y 90 minutos.
	Categoría C: cuando se necesita un tiempo medio de reparación inferior a 45 minutos.

Fuente: Parra y Crespo

Realizado por: Samaniego, Johana, 2019

2.10. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM)

RCM es una de metodología utilizada para la mejora continua, siendo muy importante en la etapa de mantenimiento y operación. La norma EN 60300 da su definición como un “método para identificar y seleccionar las políticas de gestión de fallos orientadas a lograr de forma eficaz y eficiente los niveles requeridos de seguridad, disponibilidad y coste operativo”(EN 60300, 2013).

La metodología consta de siete preguntas, las cuales se detallan en la Figura 3-2:

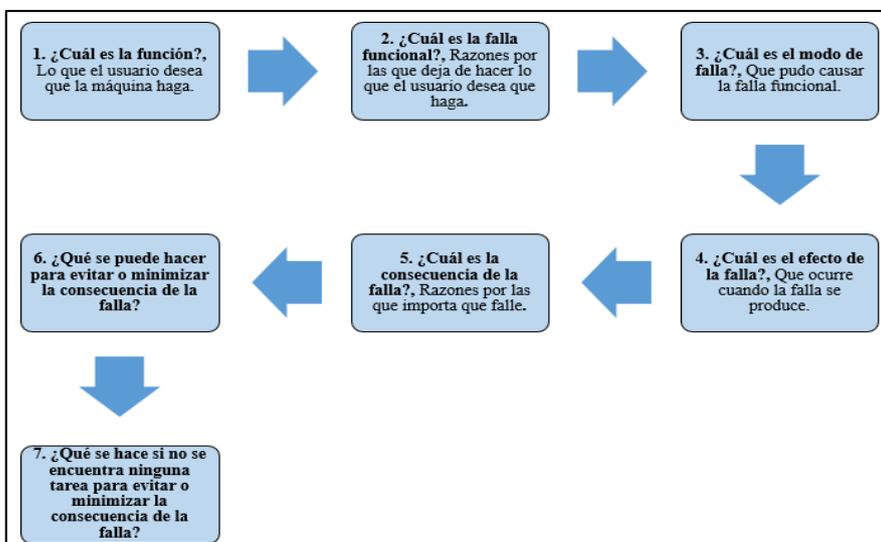


Figura 3-2: Las siete preguntas del RCM

Fuente: Moubray

Realizado por: Samaniego, Johana, 2019

2.11. Análisis de Modo de falla y efecto

El análisis de modo de falla y efecto es “una técnica analítica que tiene la finalidad de identificar y evaluar todos los modos potenciales de falla, sus causas y efectos para prevenir o corregir dichas fallas a través del establecimiento de acciones específicas y mecanismos de control” (Martínez, 2004). Este proceso es parte de la implementación del RCM.

El AMEF posee dos beneficios principales (García, 2000):

- Posee un gran desarrollo para equipos y maquinaria.
- Ayuda al mejoramiento de la calidad y satisfacción del cliente.

El análisis de modo de falla y efectos cuenta con los siguientes elementos:

2.11.1. Falla

Moubray define a falla como “la incapacidad de cualquier activo de hacer aquello que sus usuarios quieren que haga” (Moubray, 2000). Mientras que, la norma EN 13306, explica que es el “cese en la capacidad de un elemento para desarrollar una función requerida” (EN 13306, 2011). Por lo tanto, al ocurrir este evento se necesita realizar mantenimiento correctivo para evitar pérdidas económicas en la empresa. A esta categoría se conoce como fallo funcional, que es “Un estado en el que un activo físico o sistema no se encuentra disponible para ejercer una función específica a un nivel de desempeño deseado” (SAE 1011,1999).

Existe fallas de tipo parcial o técnica, en la cual el activo funciona por debajo de los estándares de funcionamiento deseados por el usuario, o a su vez no cumplen todas las funciones requeridas, hay que tomar en cuenta que, si este estado persiste a largo tiempo desembocaría en un fallo funcional. Entonces, una falla de este tipo reduce de una u otra forma la capacidad de producción, pero sin llegar al colapso.

2.11.2. Modos de fallo

El modo o causa de fallo es la “razón que conduce al fallo” (NE 13306, 2011). Mientras que para Moubray es “cualquier evento que produce una falla funcional” (Moubray, 2000) y la norma ISO 14224 indica que “una causa de falla se puede originar durante la especificación, diseño, fabricación, montaje, operación o mantenimiento de un ítem” (ISO 14224, 2016). Entonces se concluye que un fallo es producido por uno o varios modos de fallo y que surgen en cualquier etapa del ciclo de vida de un activo.

2.11.3. Efectos de falla

Los efectos de falla “describen qué pasa cuando ocurre un modo de falla” (Moubray, 2000). La descripción de estos debe poseer una información confiable que ayude a determinar la consecuencia de las fallas, que se determinara posteriormente.

Las características en la descripción de los efectos de falla se detallan en la Figura 4-2. Cuando se realiza la descripción de los efectos de falla se los harán de forma tal, que se note que realizando mantenimiento correctivo únicamente.

Las fuentes de información para obtener modos y efectos de falla son: la documentación provista por el fabricante o proveedor del equipo, empresas con el mismo tipo de maquinaria, historial de fallos, etc.

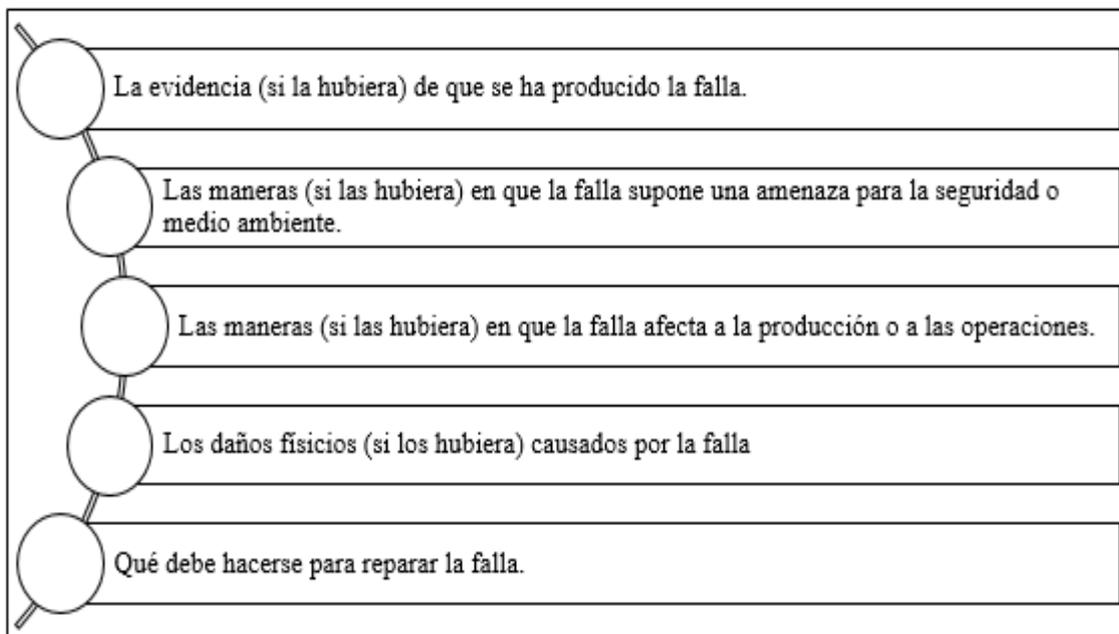


Figura 4-2: Características de los efectos de falla

Fuente: RCM II

Realizado por: Samaniego, Johana, 2019

2.11.4. Consecuencias de falla

Las consecuencias de falla buscan resaltar la importancia de que se haya sucedido un fallo, definiéndose como “los efectos que puede provocar un modo de falla o una falla múltiple (evidencia de falla, impacto en la seguridad, en el ambiente, en la capacidad operacional, en los costos de reparación directos o indirectos) (SAE JA 1011, 2002).

Según Moubray, las consecuencias de falla se clasifican en:

- Consecuencias para la seguridad y el medio ambiente.
- Consecuencias operaciones
- Consecuencias no operacionales
- Consecuencias de fallas ocultas.

2.12. Tareas

Las tareas de mantenimiento son actividades que se realizan para evitar las consecuencias de fallo, debido a que al ocurrir una falla esta incurre en pérdidas de producción que se reflejan en costos.

Existen tres tipos de tareas de mantenimiento que se describen en la Tabla 5-2.

Tabla 5-2: Tipos de tareas de mantenimiento

Tipo de tarea	Descripción
Correctiva	Se realiza cuando el equipo ha fallado.
Preventiva	Son tareas que se realizan en intervalos de tiempo con el fin de reducir la probabilidad de falla.
Basada en la condición	Son tareas que se realizan mediante el uso de técnicas predictivas con el fin de detectar condiciones anómalas antes las cuales se desarrollen actividades preventivas que atenúen sus consecuencias.

Fuente: Varios

Realizado por: Samaniego, Johana, 2019

De aquí, las tareas de mantenimiento basado en la condición se dividen en:

Técnicas basadas en las variaciones de la calidad del producto: en las cuales se observa el surgimiento gradual de los defectos, dando evidencia pronta de la aparición de fallas potenciales.

Técnicas de monitoreo de efectos primarios: las cuales declaran parámetros que son monitoreados por el personal mediante el uso de sistemas de control de procesos o SCADA.

Técnicas basadas en los sentidos humanos: son las que se realizan mediante el tacto, oído, olfato, etc.

Técnicas de monitoreo de condición: se utilizan mediante el uso de equipo especializado para el mantenimiento basado en la condición con el fin de la detección de fallas potenciales.

2.13. Logística de mantenimiento

La norma EN 13306, define a la logística de mantenimiento como la “Provisión de recursos, servicios y gestión necesarios para realizar el mantenimiento” (EN 13306, 2011). Por lo tanto, poseer los recursos adecuados ayudará a desarrollar las actividades o tareas de mantenimiento de forma más eficiente.

La logística de mantenimiento comprende elementos como: mano de obra, procedimientos, materiales, herramientas, planos, documentación, frecuencias, etc.

2.14. Plan de mantenimiento

El plan de mantenimiento es una “serie de tareas estructuradas y documentadas que incluye las actividades, procedimientos, recursos y la escala de tiempo requerida para llevar a cabo el mantenimiento” (ISO 14224, 2016). Estas actividades tienen como uno de sus objetivos alcanzar la vida útil esperada del activo.

Las principales formas de realizar un plan de mantenimiento se describen en la Tabla 6-2.

Tabla 6-2: Formas de elaboración de un plan de mantenimiento

Formas de elaboración	Descripción
Basado en instrucciones del fabricante	Es la técnica más común para elaborar un plan de mantenimiento, pero tiene posee una gran desventaja, que el fabricante no conoce las condiciones operativas donde trabajará el equipo.
Basado en experiencia del personal	Es la técnica que se realiza de forma rápida mediante la experiencia del personal propio de la organización. Además, se realizan procedimientos para las tareas.
Basado en el RCM	Es una técnica que se realiza mediante varios análisis en las cuales se analizan los fallos para obtener tareas con el fin de reducir su ocurrencia. Este método es considerado el más eficaz.

Fuente: González, 2014

Realizado por: Samaniego, Johana, 2019

2.15. Factibilidad Técnica

“Todas las tareas programadas deben ser técnicamente factibles y deben valer la pena hacerlas” (SAE JA 1012, 2002). En contraste, estas actividades deben buscar la reducción de los modos de

fallas justificando los costos incurridos en las acciones ejecutadas.

Cuando sucede una falla dentro de cualquier activo dentro de una línea productiva, esta afecta a la producción, calidad del producto o servicio, medio ambiente y personal. Si este tipo de fallas no tiene un adecuado tratamiento mediante la prevención, el personal y duración de la intervención correctiva impactara negativamente sobre los costos de mantenimiento.

La factibilidad técnica es analizada mediante el intervalo P-F.

2.15.1. Intervalo P-F

La norma SAE JA 1011 lo define como “El intervalo entre el punto en que el potencial de falla se hace detectable y el punto en que este se degrada hasta una falla funcional (también conocido como “período para el desarrollo de falla” o “tiempo esperado para la falla”).” (SAE JA 1011, 1999). El desarrollo de esta Figura 5-2 incurre en costos por el mantenimiento basado en la condición para encontrar el punto óptimo donde comience el desarrollo de la falla potencial.

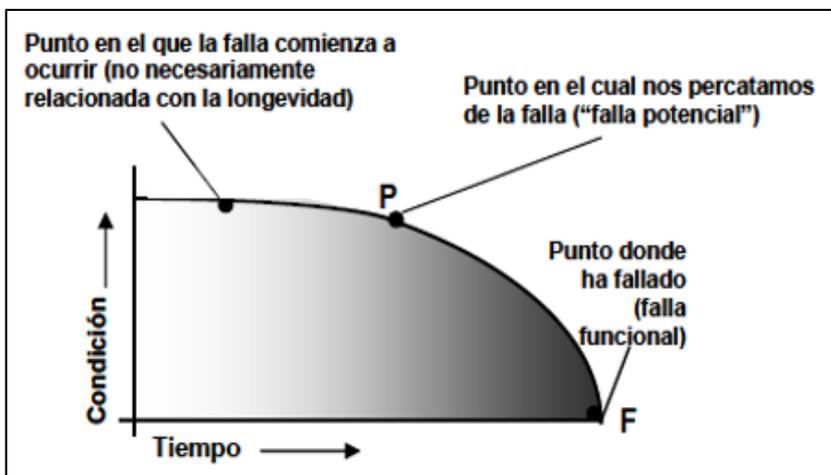


Figura 5-2: Intervalo P-F
Fuente: RCM II

En el punto P de la Figura 5-2, es identificable mediante tareas de mantenimiento basado en la condición a través del establecimiento de parámetros de control en dichas actividades. El desarrollo del intervalo P-F conlleva inversión de tiempo y costos, para observar el comportamiento de los elementos.

2.16. Sostenibilidad técnica de las tareas

La sostenibilidad técnica está relacionada con la efectividad del costo de realizar una tarea que está definida en la norma SAE JA 1012, que expresa “si dos o más políticas de manejo de fallas

propuestas son técnicamente factibles valen la pena hacerlas, se debe seleccionar la política que sea más costo efectivo” (SAE JA 1012, 2002). Hay que mencionar que, la elección de la política más económica debe realizar antes que la que tenga más tecnología.

2.16.1. Análisis de costos

El flujo productivo dentro de las empresas se ve detenido cuando se produce una falla, generándose pérdidas de producción que influyen en la reducción de ingresos durante se realiza la reparación del fallo. Hay que mencionar que, las actividades de mantenimiento preventivo provocan el mismo impacto descrito anteriormente. Entonces aparece el conocido lucro cesante.

El cálculo de los costos directos e indirectos, en los cuales se incurren cuando se realiza las diferentes actividades de mantenimiento sirve para observar si estas son sostenibles técnicamente, además, este análisis se realiza para observar el costo de implementar una nueva metodología de mantenimiento.

En el artículo científico “Método para el cálculo del costo de indisponibilidad en procesos productivos” se definieron las expresiones:

- Para el cálculo del costo de mantenimiento correctivo:

$$C MC = \lambda(\text{año}) * [C_{Repuestos} + C_{Materiales} + C_{H/H} * T_I + MC_u * C * T_I] \quad (9)$$

De donde:

- λ : es la tasa de fallos anual.
- $C_{Repuestos}$: es el costo de repuestos
- $C_{Materiales}$: es el costo por materiales
- $C_{H/H}$: es el costo de hora hombre del personal
- MC_u : es el margen de contribución unitario
- T_I : es el tiempo de indisponibilidad en un periodo de tiempo
- C : es la capacidad de producción por hora.

El costo de mantenimiento basado en la condición se calcula mediante la expresión:

$$C MBC = \lambda(\text{año}) * [C_{Repuestos} + C_{Materiales} + C_{H/H} * T_{MP} + MC_u * C * T_{MP}] + \text{Costo de inspección} * \text{número de inspecciones} \quad (10)$$

De donde:

- T_{MP} : es el tiempo de mantenimiento preventivo de un periodo de tiempo

El costo de mantenimiento preventivo se calcula mediante la fórmula:

$$C_{MP} = \frac{\text{Horas año}}{t_{R(t)}} * [C_{Repuestos} + C_{Materiales} + C_{H/H} * T_{MP} + MC_u * C * T_{MP}] \quad (11)$$

De donde:

- t : es el tiempo óptimo para la ejecución del mantenimiento preventivo
- $R(t)$: es la confiabilidad

Dentro de estas expresiones mostradas anteriormente, existen varios términos que necesitan ser calculados mediante las siguientes formulas:

$$MC_u = PV_u - CV_u \quad (12)$$

De donde:

- PV_u es el precio de venta unitario del producto o servicios ofertados
- CV_u : son los costos variables unitarios.

Los costos variables unitarios se calculan mediante la siguiente formula:

$$CV_u = \frac{\text{Costos variables}}{\text{Unidad producidas}} \quad (13)$$

Por lo general, los datos necesarios para estos cálculos se hallan en documentos realizados en los departamentos financieros de las empresas. Finalmente, los términos como la confiabilidad, tiempo óptimo y tasa de fallos se calculan mediante la distribución de Weibull y normal, teniendo previamente los tiempos entre fallos.

2.16.1.1. Distribución de Weibull

La distribución de Weibull es de gran ayuda en el campo del mantenimiento, ayuda a determinar la probabilidad de supervivencia de un elemento en un periodo de tiempo, incluso logra determinar la etapa del ciclo de vida en la cual se encuentra un ítem. Hay que resaltar que, para realizar el análisis de Weibull se debe tener un mínimo de tres datos, entonces se parte de la función de densidad de probabilidad, que es utilizada en mantenimiento para calcular la confiabilidad, la cual es descrita a continuación:

El cálculo de los diferentes parámetros Weibull se realiza mediante metodologías, las cuales se indican en la Tabla 7-2.

Tabla 7-2: Métodos para el cálculo de los parámetros de Weibull

Método	Descripción
Método de máxima probabilidad	Utiliza un sistema de iteraciones numéricas, el cual permite el cálculo de dos parámetros.
Método de probabilidad modificada	Similar a la primera, la cual permite el cálculo de dos parámetros.
Mínimos cuadrados	Utiliza una transformación doble logarítmica para optimizar y ajustar dos parámetros (forma y escala), es empleado en el uso de gráficos
Método de estimación de los momentos	Calcula dos parámetros
Estimadores lineales	Utilizado para modelos específicos, determina uno o dos parámetros. Cuando se determina un parámetro, el segundo se obtiene mediante una relación sencilla con algún método anterior.
Métodos gráficos	Se utiliza la función de tasa de fallo. Se emplea gráficos específicos y se tiene dos parámetros inicialmente. Para la obtención de los gráficos se realiza el método de mínimos cuadrados para buscar una solución.

Fuente: Varios

Realizado por: Samaniego, Johana, 2019

Uno de los métodos más eficaces, es el de los mínimos cuadrados, mediante una transformación de una doble logarítmica permite hallar los parámetros de forma y escala.

La NTP 331 referente a confiabilidad. Distribución de Weibull expresa que se debe definir primero la ecuación de la función acumulativa de Weibull conocida en mantenimiento como confiabilidad, la cual se define a continuación:

$$R(t) = 1 - e^{\left(\frac{t-t_0}{\alpha}\right)^\beta} \quad (14)$$

De donde:

- t : es el periodo de tiempo para el cual se realiza el análisis.
- t_0 : es un tiempo inicial dado como garantía
- α : es la vida promedio o parámetro de escala
- β : es el parámetro de forma

Entonces se realiza el siguiente despeje partiendo de la ecuación de la función acumulativa de Weibull, definida anteriormente.

$$1 - R(t) = \frac{1}{e^{\left(\frac{t-t_0}{\alpha}\right)^\beta}}$$

$$\frac{1}{1 - R(t)} = e^{\left(\frac{t-t_0}{\alpha}\right)^\beta}$$

$$\ln \left[\frac{1}{1 - R(t)} \right] = \ln e^{\left(\frac{t-t_0}{\alpha}\right)^\beta}$$

$$\ln \left[\frac{1}{1 - R(t)} \right] = \left(\frac{t - t_0}{\alpha}\right)^\beta$$

$$\ln \left[\ln \left(\frac{1}{1 - R(t)} \right) \right] = \beta \ln \left(\frac{t - t_0}{\alpha} \right)$$

$$\ln \left[\ln \left(\frac{1}{1 - R(t)} \right) \right] = \beta \ln(t - t_0) - \beta \ln(\alpha) \quad (15)$$

La ecuación resultante se asemeja a la ecuación lineal de la recta de la forma:

$$y = \beta x - b$$

De donde:

$$y = \ln \left[\ln \left(\frac{1}{1 - R(t)} \right) \right] \quad (16)$$

$$x = \ln(t - t_0) \quad (17)$$

$$b = \beta \ln(\alpha) \quad (18)$$

Para linealizar los datos que se obtienen mediante las expresiones anteriores es necesario utilizar un estimador denominado el rango de mediana, ya que este está definido en función de las fallas presentes. Siendo la expresión matemática de este estimado:

$$W_\alpha(x_i) = \frac{\frac{i}{n-i+1}}{F_{1-\alpha, 2(n-i+1), 2i + \frac{i}{n-i+1}}} \quad (19)$$

De donde:

- W_α : es el rango de mediana para un nivel de confianza $(1 - \alpha)$, en el cual α es la significancia y es de 0,5 para el uso de este estimador.
- i : es el orden de la falla
- n : es número de fallas o número de datos
- $F_{\alpha, v1, v2}$: son los valores críticos de la distribución.

Debido a la complejidad de la ecuación 19, el rango del estimador rango de la mediana se aproxima bastante a la ecuación 20.

$$RM(x_i) = \frac{i-0,3}{n+0,4} \quad (20)$$

De donde:

- RM es el rango de la mediana,
- i : es el orden de falla, y
- n : número total de fallas o número de datos.

De las ecuaciones anteriores, se deduce que el parámetro de forma representa la pendiente de la recta, que para su cálculo se utiliza la ecuación (19).

$$m = \beta = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} \quad (21)$$

Mientras que, el parámetro de escala está en función de la intersección que se denota con b en la ecuación de la recta, entonces este término es definido de la siguiente forma:

$$b = -\beta \ln(\alpha)$$

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

$$\alpha = e^{(-\frac{\beta}{b})} \quad (22)$$

Con estos parámetros calculados se aplica las siguientes fórmulas para el cálculo de la tasa de fallos y tiempo de mantenimiento.

$$\lambda = \frac{\alpha}{\beta} * e^{\left(\frac{t}{\beta}\right)^{(\beta-1)}(t)} \quad (23)$$

$$t = \alpha * e^{-\ln(R) * \left(\frac{1}{\beta}\right) + t_0} \quad (24)$$

2.16.1.2. Distribución normal

La distribución normal es ajustable a dos tipos de datos en el campo de mantenimiento. Por una parte, están las fallas de ítems relacionados al desgaste y por el otro, se encuentran los estudios de aceptación de elementos fabricados o elaborados, hay que mencionar que, el número de datos que vayan a ser analizados no importa, si es uno o más.

Esta distribución se ajusta al tiempo entre fallos que sirven para calcular la tasa de fallos a través mediante las ecuaciones matemáticas detalladas en la Tabla. 8-2.

Tabla 8-2: Parámetros de la distribución normal aplicados al mantenimiento

Descripción	Fórmula
Media (μ)	$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{\text{Numero de fallos}} \quad (25)$
Desviación estándar (s)	$S = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \mu)^2}{n}} \quad (26)$
Varianza S^2	S^2
Valor de z calculado	$Z_{\text{calculado}} = \frac{X - \mu}{S} \quad (27)$
Tiempo	$T = \text{media} - (S * z) \quad (28)$
Densidad de probabilidad F(x)	$F(t) = \frac{1}{\sqrt{2 * \pi * s}} * e^{\left(\frac{-(X - \mu)^2}{2 * s^2}\right)} \quad (29)$
Desconfiabilidad R(t)	$R(t) = 1 - F(t) \quad (30)$
Tasa de fallos $\lambda(t)$	$\lambda(t) = \frac{1}{\sqrt{2 * \pi}} * e^{\left(\frac{-(z)^2}{2}\right)} \quad (31)$

Fuente: González, 2014

Realizado por: Samaniego, Johana, 2019

Finalmente, cuando se realiza el cálculo de los costos de mantenimiento mediante las ecuaciones detalladas anteriormente, se debe comparar que el costo de mantenimiento basado en la condición sea menor que todos, luego le precede el costo de mantenimiento preventivo y, en último lugar se halla el costo de mantenimiento correctivo, evidenciando la sostenibilidad de las tareas que vayan a implementarse.

CAPÍTULO III

3. EVALUACIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL

3.1. Descripción de la empresa

La Corporación Eléctrica del Ecuador (CELEC-EP) es una empresa pública cuya finalidad es la provisión de servicio eléctrico y debe responder a los principios de obligatoriedad, generalidad, uniformidad, responsabilidad, universalidad, accesibilidad, regularidad, continuidad y calidad. (CELEC). CELEC cuenta con varias unidades de negocio para abastecer el sistema interconectado nacional.

Actualmente, la unidad de negocio Termopichincha está abasteciendo de energía eléctrica a las operaciones del Bloque 43 ITT mediante la instalación de generadores eléctricos (HYUNDAI 9H21/32) y equipos auxiliares, con una potencia nominal de 34 MW y una potencia efectiva despachada de 24 MW.

Estos equipos procedentes de la Central Quevedo poseen una capacidad rápida de adecuación y operación con combustible crudo, que es provisto del mismo campo petrolero. Para así, optimizar recursos y tratar de minimizar los costos de operación.

Por otro lado, debido a que estos equipos se adaptan con facilidad, se debe tomar en cuenta que las frecuencias de mantenimiento tienen que ser ajustadas por el ambiente en el que van a trabajar.

3.1.1. *Distribución de la empresa*

En la Figura 1-3, se indica la distribución de la central térmica ITT. donde se observa que las unidades de generación se encuentran dentro de contenedores junto a sus respectivos equipos principales como se visualiza en la Figura 2-3.



Figura 1-3: Distribución de la empresa

Fuente: CELEC EP

Realizado por: CELEC EP, 2019

3.1.2. Características técnicas de la empresa

Petroamazonas EP y CELEC EP Termopichincha mediante el convenio específico de energía establecieron los siguientes parámetros de generación (Ver Tabla 1-3):

Tabla 1-3: Parámetros de generación

Capacidad Instalada mínima	30 000 kW
Factor de disponibilidad	75% sobre la capacidad instalada
Factor de carga (PAM EP)	90%
Capacidad efectiva real continua garantizada	20 250 kW

Fuente: CELEC EP

Realizado por: Samaniego, Johana, 2019

Las condiciones atmosféricas se describen en la Tabla 2-3.

Tabla 2-3: Condiciones atmosféricas

	Central Térmica ITT
Temperatura ambiente promedio	25°C - 37°C
Humedad relativa promedio	99,5%

Fuente: CELEC EP

Realizado por: Samaniego, Johana, 2019

Los datos obtenidos de las Tablas anteriores fueron obtenidos de la documentación facilitada por

CELEC EP. Además, el fabricante recomienda que, bajo estas condiciones y ambientales, las unidades de generación deberán trabajar al 85% de su potencia, debido a que, si se supera estos parámetros se genera un estrés térmico que conlleva a un mayor índice de fallas y alta probabilidad de desgaste temprano en los equipos.

El combustible para utilizar es proporcionado por Petroamazonas debido a la condición del sitio y disponibilidad técnica del mismo, el análisis de sus diferentes factores del crudo se muestra en la Tabla 3-3.

La calidad de combustible suministrada por Petroamazonas presenta grandes diferencias como se indicaron en la Tabla en factores como: viscosidad, asfáltenos, relación sodio-vanadio, siendo el de mayor importancia es el de punto de inflamación que produce gasificación temprana antes de llegar al punto de inyección.

Tabla 3-3: Características del combustible

Características	Método	Valores obtenidos en ITT
Punto de inflamación	ASTM D92	16 °C
Punto de vertido	ASTM D97	3 °C
Cenizas	ASTM D482	0 % P
Asfáltenos	ASTM D3279	9,24 % P
Azufre	ASTM D4294	2,33 % P
Agua por destilación	ASTM D95	1 % V
Sedimentos por extracción	ASTM D474	0,020 % P
Carbono Ramsbottom	ASTM D189	13,46 % P
Densidad API a 60 °F	ASTM D287	14 ° API
Gravedad específica	ASTM D1298	0,9746 N/A
Viscosidad cinemática a 100°C	ASTM D445	94,60 cSt
Poder calórico superior (*)	ASTM D240	10110,09 kcal/kg
Vanadio	ASTM D5056	387 mg/kg
Sodio	ASTM D5056	0 mg/kg
Aluminio	ASTM D5056	0 mg/kg
Silicio	ASTM D5056	0 mg/kg

Fuente: CELEC EP

Realizado por: Samaniego, Johana, 2019

Estas diferencias entre las propiedades del combustible utilizado en la Central Térmica Quevedo y el crudo a utilizarse en el campo ITT, limitará el funcionamiento de las unidades de generación, por lo cual, se necesitará revisar los planes de mantenimiento para ajustar las frecuencias.

Además de tratar de mejorar las propiedades del crudo suministrado por Petroamazonas mediante el adición de hasta el 15 % en volumen de diésel para alcanzar mejor rendimiento de este.

3.1.3. Descripción de equipos de la empresa

La unidad de generación cuenta con los siguientes equipos:

3.1.3.1. Motor de combustión interna

Un motor en línea de 9 cilindros con una carrera de 32cm y un diámetro en el cilindro de 21cm, de esta referencia sale el modelo de la unidad 9h21/32, con una potencia de 1,8 MW. El motor de combustión interna se muestra en la Figura 2-3.

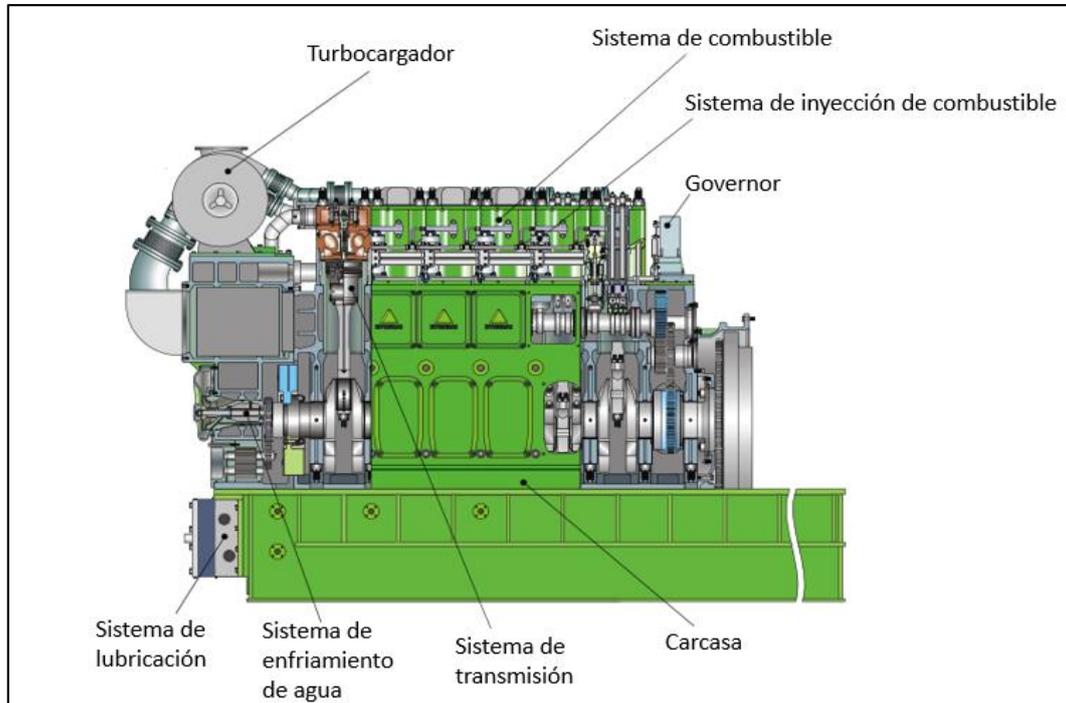


Figura 2-3: Motor de combustión interna y equipos auxiliares.

Fuente: Manual Hyundai

Realizado por: Samaniego, Johana, 2019

3.1.3.2. Generador

Un alternador, de polos salientes, sin escobillas a 1,7 MW, de 8 polos, con un voltaje de 4,16 kV en cada una de las 3 fases y con una clase de aislamiento F.

3.1.3.3. Tuberías

Ingreso y salida de fluidos para controlar condiciones normales de funcionamiento de la unidad.

3.1.3.4. Intercambiadores de calor

Intercambiador de calor radiador, fluido a refrigerar agua, fluido refrigerante aire, flujo cruzado de 0,9 in de diámetro de ingreso y paneles de 2,2 mm para paso del aire.

3.1.3.5. Panel de control

Control de la unidad de generación digital y analógica, con un governor hidroneumático, controlado por un motor DC, y un controlador de velocidad “basilic”, para el sincronismo del

alternador. El panel de control se muestra en la Figura 3-3.

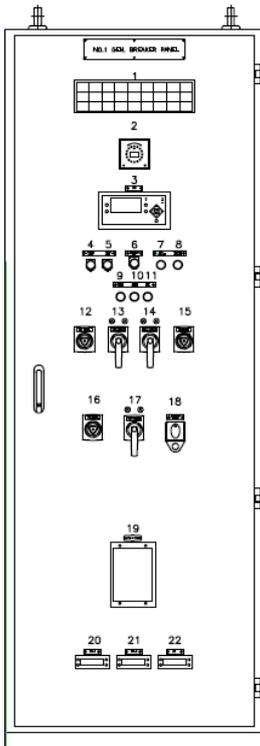


Figura 3-3: Panel de control

Fuente: Manual Hyundai

Realizado por: Samaniego, Johana, 2019

La función principal es dar control de la unidad de generación digital y analógica, con un governor hidroneumático, controlado por un motor DC, y un controlador de velocidad “basilic”, para el sincronismo del alternador. El panel de control cuenta con elementos internos como: relés, guardamotores, fusibles, cableado y elementos externos de accionamiento rápido como interruptores, manijas, pantallas, etc.

3.2. Valoración de la gestión de mantenimiento

La evaluación de la gestión de mantenimiento sirve para observar el alcance de las metas planificadas para un periodo de tiempo además de posibilitar la identificación de aspectos sobre los cuales se plantearán mejoras. Los indicadores para la evaluación del mantenimiento deben ser pocos y concisos que ayuden a la toma de decisiones sobre posibles problemas encontrados, ayudando así al éxito del proceso.

En la actualidad, existen indicadores con el fin de evaluar la gestión de mantenimiento, que son aplicables a cualquier tipo de industria mediante una adecuada recolección de datos (Azoy 2014).

Para el presente trabajo de titulación, se utilizaron los siguientes indicadores:

- Tiempo medio entre fallas (TMEF o MTBF)
- Tiempo medio para la reparación (TMPR o MTTR)
- Disponibilidad
- Confiabilidad

3.2.1. Recolección de datos

CELEC EP posee un software de tipo ERP (Enterprise Resource Planning, es un software que busca automatizar todos los aspectos presentes en una empresa) conocido como IFS (Industrial and Financial Systems), que da soporte al control y operación de las diferentes centrales eléctricas bajo su cargo, mediante los siguientes módulos: componente de finanzas, componente de recursos humanos, componentes de ingeniería, componente de proyectos, componente de fabricación, componentes de cadena de suministro, componentes de mantenimiento, componentes de ventas y servicios.

El componente de mantenimiento mediante sus diferentes submódulos permite el ingreso del inventario técnico codificado, la programación de las tareas de mantenimiento con sus respectivos recursos, generación de documentación de mantenimiento, control de inventarios, etc.

Para este primer paso se realizó la recolección de datos referentes a las fallas suscitadas en el período enero a diciembre del 2018 en las unidades de generación de CELEC, ya que la empresa se mantuvo operando constantemente luego de un tiempo de paro, cuya información fue tomada desde el componente de mantenimiento del IFS, de donde se tomó las fechas y horas de los fallos.

3.2.2. Cálculo del tiempo medio entre fallos y tiempo medio para la reparación

Para realizar este cálculo se observó la información recopilada del software referente a cada activo en análisis, de donde se tomó las fechas y hora entre cada fallo, siendo conocido como tiempo de operación cuya unidad se obtuvo en horas. Teniendo en cuenta que el contexto de trabajo es: 24 horas al día, siete días a la semana y los 12 meses del año.

La ecuación para el cálculo del tiempo medio entre fallos, se tomó de la norma EN 61703:

$$TMEF = \frac{\sum_{i=1}^n TEF_i}{n} \quad (1)$$

De donde: TEF es el tiempo entre fallos en un periodo de tiempo y n es el número de tiempos entre fallas.

Para el ejemplo de cálculo de la disponibilidad, se tomó la información de la unidad de generación 38, el cual es un grupo electrógeno que consta de un motor de combustión interna de 9 cilindros en línea de potencia 1,8 MW ISO teniendo integrado (intercambiador de calor de aceite, intercambiador de calor de diésel, bombas de agua de alta y baja temperatura, válvulas termostáticas de aceite y agua, bomba de aceite, gobernador, motor de arranque, sensores e indicadores de presión y temperatura, filtros de aceite y combustible) además con un generador de 1,7 MW, intercambiador de calor de agua para el sistema de enfriamiento de la unidad y combustible, panel de fuerza y control, válvulas y tuberías complementarias auxiliares detallado en la Figura 2-3.

Para realizar la evaluación, se calculó el tiempo medio entre fallos, el cual fue tomado del historial de fallos. El periodo de análisis fue de un año que consta de 365 días con un equivalente de 8760 horas. Como ejemplo se tomó la unidad de generación 38, que consta de los datos indicados en la Tabla 4-3:

Tabla 4-3: Tiempos de operación

Período de tiempo	Tiempo de operación (horas)
01/01/2018 al 21/06/2018	4334
22/06/2018 al 05/09/2018	1387
17/09/2018 al 05/11/2018	779

Fuente: CELEC EP

Realizado por: Samaniego, Johana, 2019

Se aplicó la ecuación (1), con los datos obtenidos de la Tabla 4-3 se obtiene:

$$TMEF = \frac{4334 + 1387 + 779}{3} = 2166,66 \text{ h}$$

Mientras tanto que, para el cálculo del tiempo medio de reparación, en la norma EN 61703, expone que este indicador depende de varios factores como retrasos administrativos, logísticos, etc.; lo que se describe en la ecuación 2.

$$MTTR = MUFT + MAD + MLD + MACMT \quad (2)$$

Dónde: MUFT es tiempo medio de avería no detectada; MAD es el retraso administrativo medio; MLD es el retraso logístico medio; MACMT es el tiempo medio de mantenimiento correctivo activo dado por la ecuación (3)

$$MACMT = MTD + MRT \quad (3)$$

Dónde: MTD es el retraso técnico medio; MRT es el tiempo de reparación medio.

Reemplazando la ecuación 3 en la 2 se obtiene:

$$MTTR = MUFT + MAD + MLD + MTD + MRT \quad (4)$$

La ecuación (5) sirve para el cálculo del tiempo medio para la reparación, la cual fue tomada de la norma EN 61703:

$$MTTR = \frac{\sum_{i=1}^m (\text{tiempo hasta la restauración})_i}{m(\text{número de reparaciones})} \quad (5)$$

Para ejemplo del cálculo del indicador tiempo medio para la reparación, se tomó los datos de la unidad de generación 38 del IFS. Se debe mencionar que, la información recopilada en el historial de fallos existe únicamente registros del tiempo de reparación, por lo que, no se sabe si los tiempos debido a retrasos logísticos y administrativos fueron tomados en cuenta. Entonces aplicada la ecuación (5) se tiene:

$$MTTR = \frac{174,35 + 339,17 + 29,08}{3} = 180,86 \text{ h}$$

En la Tabla 5-3, se indican los tiempos medios entre fallos y tiempos medios de reparación:

Tabla 5-3: Tiempos medio entre fallos y tiempos medio para reparación

UNIDAD	MTBF	MTTR
UNIDAD 37	2826,67	243,36
UNIDAD 38	2166,67	180,86
UNIDAD 56	2160,33	22,55
UNIDAD 57	1714,60	38,74
UNIDAD 47	1862,33	423,77
MDU 55	2774,00	147,22

Fuente: CELEC EP

Realizado por: Samaniego, Johana, 2019

3.2.3. Cálculo de la disponibilidad y confiabilidad

La disponibilidad es una relación matemática entre el tiempo entre fallas (TMEF) y el tiempo utilizado para reparar (TMPR) (Mesa et, 2006). Pero, es necesario destacar que estos lapsos deben contemplar:

- En el tiempo medio entre falla: el lapso utilizado para poner al activo a operar al ciento por ciento
- Y en el tiempo medio para reparar: los lapsos utilizados debido a retrasos logísticos.

Entonces, para efecto del cálculo se tomaron los datos referentes a las intervenciones correctivas suscitadas en el periodo enero a diciembre del 2018, en donde no se desglosó los diferentes tiempos referentes a retrasos logísticos presentados sin intervenir en los resultados del proceso.

Para el cálculo de la disponibilidad se empleó la ecuación 6 de la norma EN 15341:

$$Disponibilidad = \frac{TD}{TR} = \frac{TD}{TD+TID} \quad (6)$$

De donde: TD es el tiempo disponible; TR es el tiempo requerido y TID es el tiempo de indisponibilidad. Desarrollando la ecuación 6, a una forma más sencilla mediante del uso de la ecuación 4 y 5 se obtuvo la ecuación 7:

$$Disponibilidad = \frac{\frac{\sum_{i=1}^n TEF_i}{n}}{\frac{\sum_{i=1}^n TEF_i}{n} + \frac{\sum_{i=1}^m TPR}{m}} \quad (7)$$

De donde: *TEF* es el tiempo entre fallos, *TPR* es el tiempo para la reparación, *n* es el número de fallas y *m* es el número de reparaciones.

Para hacer uso de la ecuación 7, se tomará en cuenta que como condición necesaria los valores de *n* y *m* deberán ser iguales, por lo que en la aplicación planteada será de ayuda para llegar a los resultados esperados. Los datos de tiempos entre fallos de la unidad 38 son 4334, 1387, 779 horas, por lo tanto, aplicando la ecuación se obtiene:

$$Disponibilidad = \frac{\frac{4334 + 1387 + 779}{3}}{\frac{4334 + 1387 + 779}{3} + \frac{174,35 + 339,17 + 29,08}{3}} = 96,39\%$$

La confiabilidad es la probabilidad de que un elemento cumpla con la función requerida en un tiempo determinado bajo condiciones dadas. Además, este indicador arroja información útil como: probabilidad de fallo, tiempo promedio para fallar y la etapa de vida en la que se encuentra el activo. Existen múltiples ecuaciones matemáticas como la descrita a continuación mediante el uso de la distribución acumulativa de Weibull: (Abernethy, 2012)

$$F(t) = 1 - e^{\left(\frac{t-t_0}{\alpha}\right)^\beta} \quad (8)$$

De donde: *t* es el periodo de análisis, *t₀* es un tiempo inicial, *α* es la vida característica y *β* es el parámetro de forma de Weibull que determina la etapa en la que se halla el equipo. Mientras que, para este caso, se utilizó la ecuación (9) tomada del artículo científico “La confiabilidad, la disponibilidad y la mantenibilidad, disciplinas modernas aplicadas al mantenimiento” de Mesa 2006:

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda.t} \quad (9)$$

De donde: *λ* es la tasa de fallos que es el inverso del tiempo medio entre fallos y *t* que es el periodo

de análisis, que en este caso es 8760 horas que comprende un año. Por lo tanto, para calcular la tasa de fallos (λ) se utiliza la ecuación, dando como resultado

$$\lambda = \frac{1}{TMEF} = \frac{1}{2166.667} = 0,0003$$

Entonces aplicando la ecuación (9), la confiabilidad es:

$$R(t) = 1 - e^{-(0,0003) \cdot (8760)} = 95,49\%$$

En la Tabla 6-3, se muestra un resumen de los resultados obtenidos del cálculo de los indicadores.

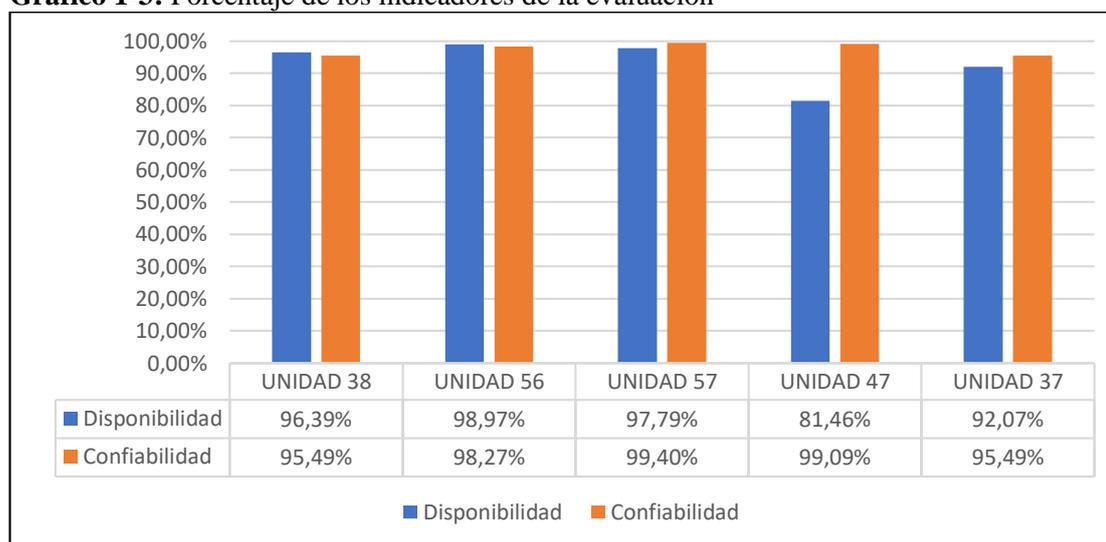
Tabla 6-3: Resultados de la evaluación

UNIDADES	MTBF(horas)	MTTR (horas)	Disponibilidad	Confiabilidad
UNIDAD 38	2166,67	180,87	96,39%	95,49%
UNIDAD 56	2160,33	22,55	98,97%	98,27%
UNIDAD 57	1714,60	38,74	97,79%	99,40%
UNIDAD 47	1862,33	423,77	81,46%	99,09%
UNIDAD 37	2826,67	243,36	92,07%	95,49%

Fuente: CELEC EP

Realizado por: Samaniego, Johana, 2019

Gráfico 1-3: Porcentaje de los indicadores de la evaluación



Fuente: CELEC EP

Realizado por: Samaniego, Johana, 2019

De acuerdo a los resultados obtenidos, se evidencia que la confiabilidad es alta, por lo tanto, cualquier estrategia que se diseñe para mejorar debe ser evaluada económicamente mediante un análisis de costo beneficio, debido a que, para poseer una alta confiabilidad, se requiere de grandes inversiones, con esta misma perspectiva, las tareas que se propongan para el plan de mantenimiento, deben justificarse mediante los respectivos análisis de factibilidad técnica y sostenibilidad de manera minuciosa.

3.3. Plan de mantenimiento basado en la condición

3.3.1. Inventario técnico y reconocimiento de equipos

Para el presente trabajo se realizó el reconocimiento e inventario de las unidades de generación en la planta térmica de Quevedo junto al personal de mantenimiento de la planta, este proceso se realizó antes de que los activos sean trasladados al bloque 43 del ITT, los cuales servirán para las actividades diarias de Petroamazonas en el bloque 43 del ITT. Las unidades de generación en análisis poseen los equipos que se detallan a continuación:

1. Motor de combustión interna
2. Panel de control
3. Intercambiadores de calor
4. Generador
5. Tuberías y válvulas

3.3.2. Codificación

La codificación sirve para la identificación rápida de los equipos, a nivel nacional CELEC EP tiene un modelo de codificación basada en la norma ISO 14224, la cual posee diez niveles jerárquicos y que es adoptada por todas las unidades de negocio.

En la Tabla 7-3, se encuentra un ejemplo aplicativo, el cual fue proporcionado por el personal de la central térmica de Quevedo.

CT-QVD-PGEE01-U01-MCI-MTR-MTR01

Tabla 7-3: Codificación del equipo

Nivel	Descripción	Código	Descripción del código
1	Tipo de negocio	CT	Central térmica
2	Ubicación	QVD	Central de generación térmica Quevedo
3	Área	PGEE01	Planta de generación de energía eléctrica 01
4	Sistema	U01	Unidad de generación térmica 01
5	Unidad funcional	MCI	Motor de combustión interna
6	Sub unidad funcional	MTR	Motor
7	Elemento	MTR01	Motor 01

Fuente: CELEC EP

Realizado por: Samaniego, Johana, 2019

La codificación utilizada por CELEC EP es muy extensa, por lo cual, no resulta beneficioso para el área de mantenimiento, por lo que se propone el uso de una codificación basada en tres niveles de la norma ISO 14224 como se indica en la Tabla 8-3 en el que se indica la ubicación técnica y el código del equipo.

CTITT-GEN-MOT01

Tabla 8-3: Codificación de los equipos

Nivel	Código	Descripción
1	CTITT	Central térmica Ishpingo, Timbococha y Tiputini
2	GEN	Generación
3	MOT01 GEN01 ICA01 ICD01 PAC01 VTC01	Motor de combustión interna 01 Generador 01 Intercambiador de calor de agua Intercambiador de calor de diésel Panel de control Válvulas y tuberías complementarias

Fuente: CELEC EP

Realizado por: Samaniego, Johana, 2019

3.3.3. Definición del contexto operacional

El contexto operacional es definido por el usuario, en el cual se detallan aspectos como: el propósito del activo, donde va a ser utilizado, quién lo va a operar, las medidas de seguridad y ambientales, etc. Definir estos términos ayuda a cumplir objetivos trazados por la empresa. En la central térmica Ishpingo Tambococha Tiputini las unidades de generación trabajan bajo el mismo contexto operacional.

Como ejemplo aplicativo se tomó el motor de combustión interna, para lo cual, se definió los siguientes puntos que estructuran el contexto operacional:

- Nombre del activo: Motor de combustión interna
- Ubicación técnica y código del equipo (CTITT-GEN-MOT01)
- Jerarquización del activo: Localización: Central Térmica Ishpingo Tiputini Tambococha /Área: Unidad de Generación/Equipo: Motor de combustión interna
- Propósito del sistema: Transformar la energía química contenida en los combustibles en energía mecánica a través de un eje de salida a una velocidad nominal 900 Rpm con una potencia mecánica de 1800 kW.
- Descripción del equipo: Es un motor de combustión interna de 4 tiempos con nueve cilindros en línea de marca Hyundai y Modelo 9H221/32. Con un régimen de baja velocidad (900 Rpm), potencia de 1800 kW. El tipo de arranque es mediante aire comprimido a una presión de 20 a 25 Bar. El tipo de combustible utilizado es diésel o combustible pesado.
- Dispositivo de seguridad: Válvula termostática y Sistema de control del motor.

- Diagrama de Entrada, Proceso y Salida (EPS)
 - Metas:
 - Seguridad:* Cumplir con las normativas internas y externas para la correcta operación del equipo
 - Ambientales:* Cumplir con las normativas pertinentes sobre la emisión de gases de la combustión
 - Operacionales:* Abastecer de energía eléctrica a las operaciones del campo 43 del ITT
 - Planes futuros: Cumplir con el suministro de energía eléctrica para las operaciones del campo 43 del ITT
- En el aspecto de cómo va ser operado y mantenido el equipo se definen los siguientes factores:
- Turnos rotativos: tres turnos diarios
 - Operación: El motor de combustión interna trabajo con crudo extraído del campo petrolero al que abastece, a 900 Rpm y potencia de 1800 kW
 - Mantenimiento: El mantenimiento se lo realiza en base a manuales del fabricante y experiencia del personal de la empresa.

En el aspecto de cómo está dividida la máquina en equipos y sistemas, se utilizaron los siguientes factores:

- **División del proceso en sistemas:** Sistema de aire/Carcasa del motor/Sistema de combustión/Sistema de inyección de combustible/Sistema de control/Sistema de conducción de energía/Sistema de lubricación/Sistema de enfriamiento/Sistema de transmisión de potencia.
- **Listado de componentes en cada sistema:** Sistema de aire: Filtro de aire/Sistema de combustión: cámaras de combustión, pistones/Sistema de inyección de combustible: Inyectores, cañerías/Sistema de control: Válvula termostática/Sistema de lubricación: bomba de lubricación/Sistema de enfriamiento: Válvula termostática/Sistema de transmisión de potencia: árbol de levas, biela

El desarrollo del contexto operacional de los equipos restantes se halla en el Anexo A.

3.3.4. Análisis de criticidad

El análisis de criticidad sirve para determinar con que prioridad se va a atender a los diferentes activos en una empresa. Para este caso se utilizó el modelo del flujograma.

El análisis de criticidad se realizó a los siguientes equipos de la unidad de generación: motor de combustión interna, intercambiadores de calor, generador, panel de control, tuberías y válvulas.

Como caso aplicativo se tomó al motor de combustión interna para el cálculo de la criticidad como se indica a continuación:

En el aspecto de medio ambiente (E) tiene una categoría A debido a que es muy probable que un fallo repercute en afecciones a las personas y la naturaleza.

En seguridad (S) posee una categoría A debido a que el equipo es capaz de producir accidentes graves a las personas que lo operan.

En cuestión de calidad (Q), obtuvo una categoría B debido a que un fallo impacta de manera notable al producto que en este caso es la energía eléctrica, además que cuentan con equipos redundantes para evitar este tipo de percances.

En el factor tiempo de trabajo (W) de un activo, obtuvo una categoría A debido a que labora tres turnos al día.

En el caso de entrega o servicios (D), obtuvo una categoría B debido a que una falla produce el paro de una sección de la empresa.

En el aspecto de fiabilidad (F), obtuvo una categoría

En el factor de mantenibilidad (M), se obtuvo una categoría A por lo que, cuando surge una falla, el tiempo de reparación es mayor a 45 minutos. Entonces se definió que el motor de combustión interna de la unidad de generación es crítico.

En la Tabla 9-3, se indica un resumen del análisis de criticidad de los equipos restantes, siendo medio ambiente (M), Seguridad (S), Calidad (Q), Tiempo de trabajo (W), Entrega o Servicio (D), Fiabilidad (F), y Mantenibilidad (M).

Tabla 9-3: Criticidad de los equipos de la unidad de generación.

Equipos	Factores de la criticidad							Criticidad
	E	S	Q	W	D	F	M	
Motor de combustión interna	A	A	A	A	B	B	A	Crítico
Generador	B	A	A	A	B	B	A	Crítico
Intercambiador de calor de agua	B	A	A	A	B	B	A	Crítico
Intercambiador de calor de diésel	B	A	A	A	B	B	B	Crítico
Panel de control	B	A	A	A	B	B	B	Crítico
Válvulas y tuberías	B	B	B	A	B	C	B	Semi crítico

Fuente: Autor

Realizado por: Samaniego, Johana, 2019

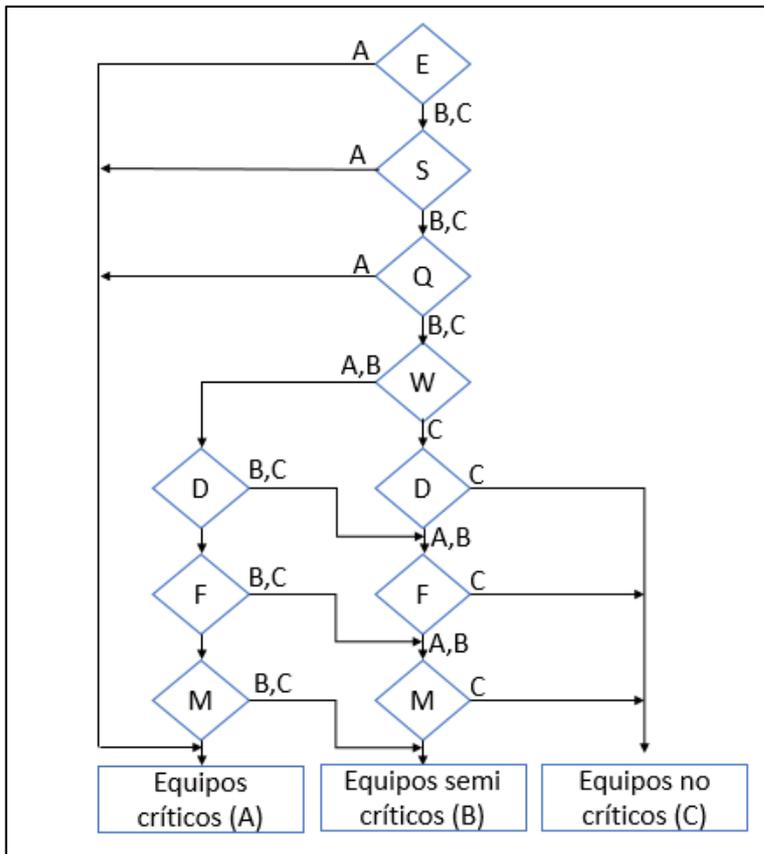


Figura 4-3: Flujograma para determinar la criticidad

Fuente: Parra y Crespo

Realizado por: Samaniego, Johana, 2019

3.3.5. Análisis de modo de falla y efectos

El análisis de modo de falla y efecto busca la causa raíz de los diferentes problemas que aquejan a los activos de una empresa. Ya que las unidades de generación de la central térmica Ishpingo Tambococha Tiputini trabajan bajo el mismo contexto operacional se toma por ejemplo el motor 01 y con esto se desarrollará el plan para los demás activos.

En la Tabla 10-3, se encuentra el AMEF del motor de combustión interna el cual se tiene de un periodo de análisis de 01 de enero a 31 de diciembre de 2018, donde la empresa se mantuvo en generación y se cuenta con un historial para las fallas presentadas.

Tabla 10-3: AMEF de un motor de combustión interna

Análisis de Modo de falla y efectos										
Sistema		Unidad de generación								
Subsistema		Motor de combustión interna								
Función	Falla funcional	Modos de fallo				Efecto de falla	Consecuencias de falla			
		NIVEL 1		NIVEL 2						
1	A	El equipo no rompe la inercia durante el arranque	A.1.	Agarrotamiento entre los engranajes del arranque automático			Se puede notar que existe un ruido durante el intento de arranque debido a los engranajes rotos o agarrotamiento de los engranajes.	Consecuencia operacional		
			A.2.	Engranajes rotos del motor de arranque neumático				Consecuencia operacional		
	B	El equipo no alcanza la velocidad nominal de 900 RPM	B.1.	Conductor deteriorado del Motor de DC del Gobernador			Se evidencia que el desgaste del conductor conlleva a que el motor no alcance la velocidad de trabajo esperado, resultando en un retraso en la producción eléctrica.	Consecuencia de falla oculta		
			B.2.	Obstrucción del filtro de combustible	B.2.1.	Falta de limpieza del filtro de combustible			Se evidencia que el equipo no puede alcanzar su velocidad de trabajo, observándose una caída de presión visible en los manómetros del sistema de combustible.	Consecuencia operacional
	C	El equipo gira a velocidades superiores a 900 RPM	C.1.	Cremalleras atascadas			Se puede notar que existe un ruido anormal, además de evidenciarse un alza en el consumo de combustible.	Consecuencia operacional		
			C.2.	Líneas del control del aire obstruidas					El flujo de combustible no puede ser controlado y existe un exceso de presión de aire en un solo punto	Consecuencia operacional
			C.3.	Falta de calibración del GAP de los sensores de velocidad					La velocidad visualizada en los controladores es inexacta debido a la falta de calibración.	Consecuencia operacional
	D	El equipo no alcanza la potencia nominal de 1800 KW	D.1.	Válvulas de admisión y escape quemadas o flameadas	D.1.1.	Bajo octanaje del combustible utilizado	Se evidencia en una alta temperatura en los cilindros, tendiendo a darse un tratamiento térmico modificándose sus propiedades que puede acortar la vida útil esperada.	Consecuencia operacional		
			D.2.	Tobera del inyector desgastada				Consecuencia de falla oculta		
			D.3.	Cremalleras agarrotadas				Consecuencia operacional		
			D.4.	Obstrucción del regulador de presión del aceite	D.4.1.	Falta de limpieza del regulador de aceite	Se produce un descenso de la presión del aceite lubricante que se visualiza en los manómetros.	Consecuencia operacional		

Continuación Tabla 10-3

D.5.	Obstrucción de los filtros de aceite	D.5.1.	Falta de limpieza del filtro de aceite			Consecuencia operacional
D.6.	Filtros de cartuchos obstruidos	D.6.1.	Filtros de cartuchos desgastados	Se produce un descenso en la presión del ingreso del combustible, que es evidente en los manómetros y controladores del sistema de combustible.		Consecuencia operacional
D.7.	Regulador de combustible obstruido	D.7.1.	Regulador de combustible desgastado			Consecuencia operacional
D.8.	Bujes Desgastados			Se evidencia que se producen altas revoluciones en el T/C que son visibles en los controladores del equipo.		Consecuencia operacional
D.9.	Aros de la tobera carbonizados					Consecuencia operacional
D.11.	Sellos desgastados de la bomba			Se producen fugas de agua que pueden ocasionar fallas en elementos de control.		Consecuencia ambiental
D.12.	Bomba de inyección deteriorada	D.12.1	Desgaste de sellos de la bomba de inyección	No se produce la combustión en el interior de la cámara, produciéndose pequeñas explosiones.		Consecuencia operacional
D.13.	Presión insuficiente del agua de enfriamiento	D.13.1.	Fuga de agua en el air cooler	El equipo alcanza temperaturas superiores al promedio que se visualizan en los indicadores del equipo		Consecuencia operacional
D.14.	Temperatura inadecuada del agua	D.14.1	Impeler desgastado	Se evidencia un incremento de temperatura que se observa en el termómetro de la bomba de agua, además de producirse ruido debido al desgaste del impeler.		Consecuencia operacional
D.15.	Baja compresión del motor	D.15.1.	Ruptura del tren de fuerza del cilindro	El equipo tiende a un mayor consumo de combustible y decae la potencia de generación.		Consecuencia operacional
		D.15.2.	Rines del pistón desgastados			

Fuente: Autor

Realizado por: Samaniego, Johana, 2019

3.4. Análisis de factibilidad técnica

Mediante el análisis de factibilidad técnica se tomó en cuenta los modos de falla que desarrollan el intervalo P-F,

3.4.1. Factibilidad técnica para las tareas basadas en la condición

Para determinar si la tarea es técnicamente factible mediante el intervalo P-F se analizó si es posible definir claramente una condición de fallo potencial el intervalo se desarrolla y si, no es posible definir una condición de fallo potencial el intervalo no se desarrolla. En la Tabla 11-3, se analiza si se desarrolla o no el intervalo P-F para los modos de falla del motor de combustión interna:

Tabla 11-3: Análisis del intervalo P-F

Código de modo de falla	Modo de fallo	Criterios de evaluación	Intervalo P-F (Desarrolla/No Desarrolla)
A.1.	Agarrotamiento entre los engranajes del arranque automático	La condición de fallo potencial se identifica claramente por un aumento de sus vibraciones	Desarrolla
A.2	Engranajes rotos del motor de arranque neumático	La condición de fallo potencial se identifica claramente por un aumento de sus vibraciones	Desarrolla
B.1.	Conductor deteriorado del motor de DC del governor	La condición de fallo potencial se identifica claramente por un aumento de su voltaje	Desarrolla
B.2.	Obstrucción del filtro de combustible	La condición de fallo potencial se identifica claramente por un aumento del flujo de combustible	Desarrolla
C.1.	Cremalleras atascadas	No es posible definir una condición de fallo potencial	No desarrolla
C.2.	Líneas del control del aire obstruidas	No es posible definir una condición de fallo potencial	No desarrolla
C.3.	Falta de calibración del GAP de los sensores de velocidad	No es posible definir una condición de fallo potencial	No desarrolla
D.1.	Válvulas de admisión y escape quemadas o flameadas	No es posible definir una condición de fallo potencial	No desarrolla

Continuación Tabla 11-3

D.2.	Tobera del inyector desgastada	La condición de fallo potencial se identifica claramente por un aumento del flujo de combustible	Desarrolla
D.3.	Cremalleras agarrotadas	La condición de fallo potencial se identifica claramente por un aumento de su temperatura	Desarrolla
D.4.	Obstrucción del regulador de presión del aceite	No es posible definir una condición de fallo potencial	No desarrolla
D.5.	Obstrucción de los filtros de aceite	No es posible definir una condición de fallo potencial	No desarrolla
D.6.	Filtros de cartuchos obstruidos	No es posible definir una condición de fallo potencial	No desarrolla
D.7.	Regulador de combustible obstruido	No es posible definir una condición de fallo potencial	No desarrolla
D.8.	Bujes desgastados	La condición de fallo potencial se identifica claramente por un aumento de su temperatura	Desarrolla
D.9.	Aros de la tobera carbonizados	La condición de fallo potencial se identifica claramente por un aumento de su temperatura	Desarrolla
D.11.	Sellos desgastados de la bomba	No es posible definir una condición de fallo potencial	No desarrolla
D.12.	Bomba de inyección deteriorada	No es posible definir una condición de fallo potencial	No desarrolla
D.13.	Presión insuficiente del agua de enfriamiento	No es posible definir una condición de fallo potencial	No desarrolla
D.14.	Temperatura inadecuada del agua	No es posible definir una condición de fallo potencial	No desarrolla
D.15.	Baja compresión del motor	No es posible definir una condición de fallo potencial	No desarrolla

Fuente: Autor

Realizado por: Samaniego, Johana, 2019

Solo los modos de falla que desarrollan el intervalo P-F son técnicamente factibles la asignación de actividades de mantenimiento basadas en la condición, se determinara en base a las señales presentadas según la norma ISO 17359, teniendo como resultado inspecciones sensoriales e

instrumentales a partir del análisis indicado en la Tabla 11-3. Las tareas obtenidas se muestran en la Tabla 12-3.

Tabla 12-3: Tareas basadas en la condición

Modo de fallo	Señal Monitoreada	Actividad basada en la condición
Agarrotamiento entre los engranajes del arranque automático	temperatura, vibración	Análisis de vibraciones
Engranajes rotos del motor de arranque neumático	temperatura, vibración	Análisis de vibraciones
Conductor deteriorado del motor de DC del governor	temperatura, voltaje	Termografía
Obstrucción del filtro de combustible	flujo del combustible	Inspecciones auditivas
Tobera del inyector desgastada	temperatura	Inspecciones visuales
Cremalleras agarrotadas	temperatura	Análisis de vibraciones
Bujes Desgastados	temperatura	Inspecciones visuales
Aros de la tobera carbonizados	temperatura	Análisis de presión

Fuente: Autor

Realizado por: Samaniego, Johana, 2019

3.4.2. Factibilidad técnica para las tareas predeterminadas

Una tarea es técnicamente factible si al aplicarla es físicamente posible reducir las consecuencias del modo de fallo asociado a una magnitud tal que sea aceptable para el usuario activo

Tabla 13-3: Tareas predeterminadas que desarrolla el intervalo P-F

Modo de fallo	Actividad predeterminada
Agarrotamiento entre los engranajes del arranque automático	Lubricación de engranajes
Engranajes rotos del motor de arranque neumático	Lubricación de engranajes
Conductor deteriorado del motor de DC del governor	Resistencia o capacidad del aislamiento de proteger al conductor
Obstrucción del filtro de combustible	Limpieza y lavado de filtros
Tobera del inyector desgastada	Prueba de presión en el inyector
Cremalleras agarrotadas	Limpieza y lubricación
Bujes Desgastados	Cambio de bujes
Aros de la tobera carbonizados	Limpieza y des carbonizado de aros de la tobera

Fuente: Autor

Realizado por: Samaniego, Johana, 2019

Para que una tarea predeterminada sea técnicamente factible es necesario establecer una frecuencia en un intervalo de tiempo, donde la probabilidad de que ocurra el modo de falla sea

muy baja. Con este propósito deben asignarse frecuencias confiables a las actividades predeterminadas que se muestran en la Tabla 13-3 y Tabla 14-3.

Para calcular el tiempo confiable se utilizan métodos estadísticos que se desarrollan de acuerdo al número de muestras obtenidas, en este caso para el estudio de las tareas que muestran datos mayores a tres se aplicó la distribución de Weibull, se tomara los datos de la tarea de calibración de inyectores que indica los tiempos entre fallos que son 1387,4334 y 779 horas.

Se definió la ecuación (14) que se encuentra en el artículo técnico NTP 331:

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta} \quad (14)$$

Para el cálculo se determinará el tiempo t

De donde:

- t: es el periodo de tiempo para el cual se realiza el análisis.
- α : es la vida promedio o parámetro de escala
- β : es el parámetro de forma

Entonces mediante despejes se obtendrá las fórmulas para el cálculo de t.

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

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

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

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

$$[\ln[1/(1 - F(t))]]^{\frac{1}{\beta}} = \frac{t}{\alpha}$$

$$t = \alpha * \left[\ln\left[\frac{1}{R(t)}\right]\right]^{\frac{1}{\beta}} \quad (15)$$

El valor de la confiabilidad se pondrá en función de la criticidad de los equipos, como se indica en la Tabla 14-3.

Tabla 14-3: Confiabilidad de los equipos según la criticidad

Componente	Criticidad	Confiabilidad
Motor de combustión interna	Crítico	0,99
Generador	Crítico	0,99
Intercambiador de calor de agua	Crítico	0,99
Intercambiador de calor de diésel	Crítico	0,99
Panel de control	Crítico	0,99
Válvulas y tuberías	Semi crítico	0,95

Fuente: Autor

Realizado por: Samaniego, Johana, 2019

Con la ecuación 15 se calcula el tiempo para las diferentes tareas, buscando que de este modo los ítems sobrevivan al tiempo de sustitución o restauración.

Tabla 15-3: Cálculo del tiempo para todas las tareas

Tareas	R(t)	Tiempo
Calibración de inyectores	0,99	654
Ajuste de espárragos principales	0,99	623
Calibración de válvulas	0,99	538
Inspección de calzos anti vibratorios	0,99	523
Inspección de levas	0,99	543
Limpieza de filtros rascadores	0,99	480
Reacondicionamiento de las bombas de inyección	0,99	748
Reacondicionamiento de la bomba de aceite	0,99	987
Reacondicionamiento de las bombas de agua	0,99	1098
Reacondicionamiento de culatas	0,99	1064
Reacondicionamiento de camisas	0,99	949
Reacondicionamiento de pistones	0,99	786
Reemplazo de cojinetes	0,99	863
Cambio de filtros de aceite	0,99	685
Reemplazo de los termostatos de aceite	0,99	835
Reemplazo de los termostatos de agua	0,99	856
Inspección del regulador de velocidad	0,99	543

Fuente: Autor

Realizado por: Samaniego, Johana, 2019

3.5. Análisis de sostenibilidad

Se realizó un análisis de costos de acuerdo al tipo de tareas de mantenimiento basado en la condición, predeterminadas y correctivas.

Las tareas de mantenimiento preventivo y basadas en la condición son sostenibles si se reduce la probabilidad de fallo a niveles despreciables, y si en un periodo de tiempo, el costo de ejecutarla

es menor que el costo de permitir que ocurra el fallo. Además de la búsqueda de disminución de los costos de mantenimiento correctivo como se observa en el caso aplicativo de la tarea de calibración de inyectores.

Para el cálculo del valor de la tasa de fallos y del tiempo se utilizó la distribución de Weibull y distribución normal a causa de la falta de muestras. Los datos necesarios para los diferentes cálculos fueron extraídos del informe de costos otorgados por CELEC EP, los cuales se encuentran en el anexo B.

3.5.1. Cálculo de la confiabilidad

Para calcular el valor de la confiabilidad utilizaremos métodos estadísticos que se desarrollaran de acuerdo al número de muestras obtenidas, en este caso para el estudio de las tareas que muestran datos mayores a tres se realizará con la distribución de Weibull, tomaremos de la tarea de calibración de inyectores, tenemos los tiempos entre fallos que son 1387,4334 y 779 horas.

Con la ecuación 15 que se obtuvo calcularemos t para las diferentes tareas

$$t = \alpha * \left[\ln \left[\frac{1}{1-R(t)} \right] \right]^{\frac{1}{\beta}} \quad (15)$$

La ecuación resultante se asemeja a la ecuación lineal de la recta de la forma:

$$y = \beta x + b \quad (16)$$

De donde: i es el número de datos a analizar y n es el número total de datos analizados.

Tabla 16-3: Cálculos iniciales para la distribución de Weibull

i	t_i	R(t)	Y	X
		$1 - \frac{i - 0,3}{n + 0,4}$	$\ln \left[\ln \left(\frac{1}{1 - R(t)} \right) \right]$	$\ln(t)$
1	779	0,7941	-1,4674	6,6580
2	1387	0,5000	-0,3665	7,2349
3	4334	0,2059	0,4577	8,3742

Fuente: Autor

Realizado por: Samaniego, Johana, 2019

Mientras que para calcular Beta se emplea el método de los mínimos cuadrados partiendo de los siguientes datos:

Tabla 17-3: Cálculo de beta

	X	Y	x*y	x ²
	-1,48	6,65	-9,85	2,19
	-0,36	7,23	-2,65	0,13
	0,45	8,37	3,83	0,20
Σ	-1,38	22,26	-8,67	2,53

Fuente: Autor

Realizado por: Samaniego, Johana, 2019

$$\beta = \frac{\Sigma x*y - \frac{(\Sigma x)(\Sigma y)}{n}}{\Sigma x^2 - \frac{(\Sigma x)^2}{n}} \quad (17)$$

$$\beta = \frac{-8,67 - \frac{(-1,38)(22,26)}{3}}{2,53 - \frac{(-1,38)^2}{3}}$$

$$\beta = 0,82$$

$$b = \bar{y} - \beta x$$

$$b = \frac{\Sigma y}{n} - \beta \left(\frac{\Sigma x}{n} \right) \quad (18)$$

$$b = \frac{22,26}{3} - 0,82 \left(\frac{-1,38}{3} \right)$$

$$b = 7,79$$

$$y = \beta x + b$$

Por otro lado, el cálculo de la vida característica se realizó mediante la ecuación 19:

$$\alpha = e^{\left(\frac{\beta}{b}\right)} = 0,90$$

Y para calcular la tasa de falla se aplicó la ecuación 20:

$$\lambda = \frac{\alpha}{\beta} * e^{\left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta-1}(t)} = 3,32$$

Y el tiempo se calcula con la ecuación 15:

$$t = \alpha * \left[\ln \left[\frac{1}{1 - R(t)} \right] \right]^{\frac{1}{\beta}} = 654 \text{ horas}$$

Para conocer el valor de la confiabilidad con el objeto de utilizar para la ecuación 15 existen dos alternativas. La primera consiste en considerar la meta de la fiabilidad para cada caso, misma que es determinada por la dirección de la empresa. El segundo método consiste en ponderar el valor de la fiabilidad en función de la criticidad del componente evaluado. para el presente trabajo de titulación se escoge el segundo método debido a que la empresa no cuenta con metas de fiabilidad.

3.5.2. Distribución normal

La distribución normal se utilizó para las tareas que presentaron dos tiempos entre fallas, como es el caso de limpieza de filtros roscadores, en donde los tiempos entre fallas son los siguientes: 1969 y 4498 horas. y la confiabilidad R (t) es 0,99

La media esta expresada como el tiempo medio entre fallos y se calculó mediante la ecuación (21), mientras que la media muestral está dada como el tiempo disponible de funcionamiento durante el año que es 8760 horas

$$\bar{X} = TMEF = \frac{\sum_{i=1}^n TEF_i}{n} = \frac{1969 + 4498}{2} = 3233.5 \text{ horas}$$

Mientras que la desviación estándar se calculó mediante la ecuación 22:

$$S = \sqrt{\frac{\sum(X_i - \bar{X})^2}{n}} = \sqrt{\frac{(1969 - 3233,5)^2 + (4498 - 3233,5)^2}{2}} = 1788,27$$

Para el cálculo del parámetro Z, se tomó de las Tablas normal que se encuentra en el anexo C con el valor de la confiabilidad de la Tabla 14-3, sus valores se tienen de acuerdo a la criticidad

Y para el tiempo (t) se utilizó la ecuación 23:

$$t = media - (S * z) = (3233,5 - 1788,27 * 1,28) = 941,73 \text{ horas}$$

Mientras que el valor de z calculado se realizó mediante la ecuación 24:

$$Z = \frac{X - \mu}{S} = \frac{8760 - 3233,5}{1788,27} = 3,09$$

Para el cálculo de la densidad de la probabilidad se aplicó la ecuación 25:

$$F(t) = \frac{1}{\sqrt{2 * \pi * s}} * e^{\left(\frac{-(X-\mu)^2}{2*s^2}\right)} = \frac{1}{\sqrt{2 * \pi * 1788,27}} * e^{\left(\frac{-(8760-3233,5)^2}{2*1788,27^2}\right)} = 0,9990$$

Por lo tanto, la tasa de fallos o función de densidad con el nuevo valor de z, resulta mediante el cálculo de la ecuación 26:

$$\lambda(t) = \frac{1}{\sqrt{2} * \pi} * e^{\left(\frac{-(z)^2}{2}\right)} = \frac{1}{\sqrt{2} * \pi} * e^{\left(\frac{-(3,09)^2}{2}\right)} = 3,367$$

3.5.3. Costos

Mediante este análisis se observará los costos de mantenimiento correctivo, preventivo para el periodo enero – diciembre del 2018. Para lo cual se utilizaron las ecuaciones matemáticas (10), (11), y (12) tomadas del artículo científico publicado en la revista perfiles por Eduardo Hernández:

$$C MC = \lambda(\text{año}) * \left[C_{\text{Repuestos}} + C_{\text{Materiales}} + C_{H/H} * T_I + MC_u * C * T_I \right] \quad (10)$$

$$C MBC = \lambda(\text{año}) * \left[C_{\text{Repuestos}} + C_{\text{Materiales}} + C_{H/H} * T_{MP} + MC_u * C * T_{MP} \right] + \text{Costo de inspección} * \text{número de inspecciones} \quad (11)$$

$$C MP = \frac{\text{Horas año}}{t_{R(t)}} * \left[C_{\text{Repuestos}} + C_{\text{Materiales}} + C_{H/H} * T_{MP} + MC_u * C * T_{MP} \right] \quad (12)$$

Para obtener el costo del margen de contribución unitario se utilizó la ecuación:

$$MC_u = PV_u - CV_u \quad (26)$$

Los costos variables se especifican a profundidad en el anexo B, para el cálculo del costo variable unitario se utiliza el valor total de este, mientras que las unidades producidas se ajustan a la demanda diaria de PetroAmazonas.

A continuación, se calcula el costo variable unitario mediante la ecuación (27):

$$CV_u = \frac{\text{Costos variables}}{\text{Unidad producida (Kilovattios producidos)}}$$

$$CV_u = \frac{1081890,432 \text{ USD}}{15552000 \text{ kWh}} = 0,07 \text{ USD/kWh}$$

De lo cual, entonces el margen de contribución unitaria es:

$$MC_u = 0,146 \text{ USD/kWh} - 0,07 \text{ USD/kWh} = 0,08 \text{ USD/kWh}$$

Para el análisis de los costos se tomó en cuenta la tarea de la calibración de inyectores con los siguientes datos:

Tabla 18-3: Datos para el cálculo de los costos de mantenimiento

Calibración de los inyectores			
Valores generales		Valor	Unidades
	Margen de contribución unitaria (MCu)	0,08	Dólares
	Capacidad (C)	0,146	Kw/hora
	Costo Hora Hombre	80,00	Dólares
Mantenimiento Preventivo	Tiempo de mantenimiento preventivo (TMP)	120	Horas
	Repuestos	0,00	Dólares
	Materiales	3,00	Dólares
	Confiabilidad R(t)	0,99	Porcentaje
	Tiempo (t)	312	Horas
Mantenimiento Correctivo	Tiempo de indisponibilidad (TI)	216	Horas
	Repuestos	0,00	Dólares
	Materiales	3,00	Dólares

Fuente: Varios

Realizado por: Samaniego, Johana, 2019

En la Tabla 16-3, se indica un resumen de los datos calculados para el análisis de costo de mantenimiento correctivo, basado en la condición y preventivo:

Siendo la capacidad (C) de producción de la central térmica ITT, cuyo valor es un valor promedio. Mientras que el costo hora-hombre fue determinado a partir del sueldo de un mecánico y eléctrico que labora 14 días con una jornada de 12 horas.

El costo de mantenimiento correctivo es:

$$C_{MC} = \lambda(\text{año}) * [C_{Repuestos} + C_{Materiales} + C_{H/H} * T_I + MC_u * C * T_I] \quad (10)$$

$$C_{MC} = 3,32 * [0 + 3 + 80 * 216 + 0,08 * 0,146 * 216]$$

$$C_{MC} = \$ 57387,93$$

El costo del mantenimiento preventivo es:

$$C_{MP} = \frac{\text{Horas año}}{t_{R(t)}} * [C_{Repuestos} + C_{Materiales} + C_{H/H} * T_{MP} + MC_u * C * T_{MP}] \quad (12)$$

$$C_{MP} = \frac{8760}{654} * [0 + 3 + 80 * 120 + 0,08 * 0,146 * 120]$$

$$C_{MP} = \$ 128646,11$$

Para el cálculo del mantenimiento basado en la condición se realizarán técnicas de monitoreo de la condición como: termografía, análisis de vibraciones e inspecciones sensoriales. Con una

frecuencia de 4 veces al año de cada una. Con un costo promedio de \$ 20,00.

Entonces, se obtiene que el costo del mantenimiento basado en la condición es:

$$C_{MBC} = \lambda(\text{año}) * [C_{Repuestos} + C_{Materiales} + C_{H/H} * T_{MP} + MC_u * C * T_{MP}] + \text{Costo de inspección} * \text{número de inspecciones} \quad (11)$$

$$C_{MBC} = 3,32 * [0 + 3 + 80 * 120 + 0,08 * 0,146 * 120] + 20 * 4$$

$$C_{MBC} = \$47846,61$$

Para las diferentes tareas se realizó el análisis de costos con los datos obtenidos a través del historial de fallas que se indican en el Anexo D, teniendo como resultado que al aplicar las tareas basadas en la condición el costo de mantenimiento es menor, y al implementar las tareas de mantenimiento basado en la condición, indicadas trataran de reducir el costo de mantenimiento correctivo principalmente, reduciendo las pérdidas de producción suscitadas en años posteriores.

Tabla 19-3: Costos de mantenimiento de las tareas

Tareas	CMC	CMBC	CMP
Calibración de inyectores	57387,93	47846,61	128646,11
Ajuste de espárragos principales	18331,68	6196,92	27047,17
Calibración de válvulas	33880,62	11363,55	46951,65
Inspección de calzos anti vibratorios	10837,61	3736,29	32218,72
Inspección de levas	33887,15	11363,55	46519,32
Limpieza de filtros rascadores	29048,95	16222,78	44725,35
Reacondicionamiento de las bombas de inyección	82602,71	50822,63	142030,07
Reacondicionamiento de la bomba de aceite	80442,18	48855,96	105117,17
Reacondicionamiento de las bombas de agua	86351,37	52230,38	98939,74
Reacondicionamiento de culatas	30309,94	18524,21	97757,01
Reacondicionamiento de camisas	61621,41	37275,44	107969,37
Reacondicionamiento de pistones	76658,74	46628,75	132343,78
Reemplazo de cojinetes	54958,34	32685,19	85299,88
Cambio de filtros de aceite	31071,45	17515,47	62808,58
Reemplazo de los termostatos de aceite	41435,57	23310,42	77123,68
Reemplazo de los termostatos de agua	56323,19	31593,17	99843,54
Inspección del regulador de velocidad	20696,7	7102,31	31822,52

Fuente: Autor

Realizado por: Samaniego, Johana, 2019

Los costos de mantenimiento preventivo están a la cabeza debido a los materiales y repuestos consumidos por las tareas, mientras que los costos de mantenimiento correctivo están por debajo de ellos y los costos de mantenimiento basado en la condición están por debajo de estos, debido a que son tareas que se realizaran 4 veces por el año, siendo esta modificable con el tiempo.

3.5.4. Tareas de mantenimiento efectivas

Tabla 20-3: Costo de las tareas efectivas

Tareas	CMBC
Calibración de inyectores	47846,61
Ajuste de espárragos principales	6196,92
Calibración de válvulas	11363,55
Inspección de calzos anti vibratorios	3736,29
Inspección de levas	11363,55
Limpieza de filtros rascadores	15069,73
Reacondicionamiento de las bombas de inyección	50822,63
Reacondicionamiento de la bomba de aceite	48855,96
Reacondicionamiento de las bombas de agua	52230,38
Reacondicionamiento de culatas	18524,21
Reacondicionamiento de camisas	37275,44
Reacondicionamiento de pistones	46628,75
Reemplazo de cojinetes	32685,19
Cambio de filtros de aceite	17515,47
Reemplazo de los termostatos de aceite	23310,42
Reemplazo de los termostatos de agua	31593,17
Inspección del regulador de velocidad	7102,31

Fuente: Autor

Realizado por: Samaniego, Johana, 2019

CAPÍTULO IV

4. PLAN DE MANTENIMIENTO

El plan de mantenimiento son las tareas que se realizan a los activos para que alcancen sus objetivos y metas.

4.1. Motor de combustión interna

En la Tabla 1-4, se muestra el plan de mantenimiento preventivo definido para el motor de combustión interna.

Tomando en cuenta los siguientes datos:

- La frecuencia fue elegida mediante el manual del fabricante, experiencia del personal.
- La mano de obra, repuestos y materiales fueron definidos de acuerdo con los recursos existentes en la central térmica ITT.

Mientras que, en la Tabla 2-4 se halla el plan de mantenimiento basado en la condición, que reúne tareas definidas con base a los modos de fallos analizados en el capítulo anterior.

Hay que tener en cuenta que, el equipo para realizar mantenimiento basado en la condición existe en la central térmica ITT, por lo cual, no existe un costo adicional por su adquisición. Y las frecuencias de mantenimiento son dadas en cuanto a inspecciones sensoriales que se realizaran de manera rutinaria cada día y las inspecciones con equipo termográfico y de vibraciones se ejecutaran cada tres meses.

Dentro del conjunto de tareas sensoriales se realizarán inspecciones visuales y auditivas.

Tabla 1-4: Plan de mantenimiento preventivo

Descripción del equipo	Motor de combustión interna											
	Frecuencia			Logística								
	1500	6000	12000	Materiales		Repuestos		Mano de Obra			Herramientas	
				Descr.	Cant.	Descr.	Cant.	Descr.	Cant.	Tiempo est.	Descripción	Cant.
Ajuste de espárragos principales				Trapo	20			Mecánico	2	10	Caja de herramientas mecánicas	1
				Desengrasante	5						Caja de herramientas especiales	2
				Aceite	1						Linterna	1
Calibración de inyectores				Trapo	20			Mecánico	1	28	Caja de herramientas mecánicas	1
				Desengrasante	2						Banco de pruebas de inyectores de combustible	1
				Malcote	1							
				Penetrante	2							
Calibración de válvulas				Trapo	10			Mecánico	2	12	Caja de herramientas mecánicas	1
				Desengrasante	2			Supervisor Mecánico	1	2		
Inspección de calzos anti vibratorios				Trapo	5			Mecánico	1	4	Caja de herramientas mecánicas	1
				Solvente	1						Linterna	1
Inspección de levas				Trapo	5			Mecánico	1	4	Caja de herramientas mecánicas	1
				Solvente	1						Linterna	1
Limpieza de filtros rascadores				Trapo	7			Mecánico	1	9	Caja de herramientas mecánicas	1
				Desengrasante	5							
				Grasa	1							
				Penetrante	2							
Reacondicionamiento de las bombas de inyección				Trapo	10			Mecánico	2	40	Caja de herramientas mecánicas	1
				Desengrasante	5						Montacargas	1
				Molicote	1						Probador de bombas de inyección	1
				Penetrante	2							

Continuación Tabla 1-4

Reacondicionamiento de la bomba de aceite				Trapo	20			Mecánico	2	45	Caja de herramientas mecánicas	1
				Grasa	1							
				Solvente	1							
				Loctite	1							
				Penetrante	3							
				Aceite	1							
Reacondicionamiento de las bombas de agua				Trapo	10			Mecánico	1	19	Caja de herramientas mecánicas	1
				Desengrasante	5						Montacargas	1
				Molicote	1							
				Penetrante	2							
				Loctite	1							
				Grasa	1							
Reacondicionamiento de culatas				Trapo	50			Mecánico	3	79	Caja de herramientas mecánicas	1
				Desengrasante	55						Montacargas	1
				Molicote	1						Hidrolavadora	1
				Aceite	1						Puente grúa	
				Penetrante	4						Rectificadora de asiento válvulas	1
				Grasa	2							
Reacondicionamiento de camisas				Trapo	30			Mecánico	2	32	Caja de herramientas mecánicas	1
				Desengrasante	5						Montacargas	1
				Aceite	4						Bruñidora	1
Reacondicionamiento de pistones				Trapo	10			Mecánico	3	37	Caja de herramientas mecánicas	1
				Desengrasante	5						Montacargas	1
				Aceite	2						Tecele neumático 0,5 TON	1
				Penetrante	2						Puente Grúa	1

Continuación Tabla 1-4

Reemplazo de cojinetes			Trapo	50			Mecánico	3	90	Caja de herramientas mecánicas	1
			Desengrasante	55			Supervisor Mecánico	1	2	Caja de herramientas especiales	1
			Molicote	1						Montacargas	1
			Aceite	4						Puente Grúa	1
			Penetrante	1							
Cambio de filtros de aceite			Trapo	4	Filtros de aceite		Mecánico	1	8	Caja de herramientas mecánicas	1
			Solvente	1							
Reemplazo de los termostatos de aceite			Trapo	30	Sellos		Mecánico	1	12	Caja de herramientas mecánicas	1
			Solvente	1							
			Penetrante	2							
Reemplazo de los termostatos de agua			Trapo	20	Sellos		Mecánico	1	11	Caja de herramientas mecánicas	1
			Grasa	1			Supervisor Mecánico	1	1		
			Solvente	1							
			Penetrante	2							
Inspección del regulador de velocidad			Trapo	3	Aceite		Mecánico	1	3	Caja de herramientas mecánicas	1
			Desengrasante	1							
			Aceite	1							
			Penetrante	1							

Fuente: Autor

Realizado por: Samaniego, Johana, 2019

Tabla 2-4: Plan de mantenimiento basado en la condición

Descripción del equipo: Motor de combustión interna								
Tarea	Frecuencia	Personal			Equipo		Materiales	
		Descr.	Cant	Tiempo	Descr.	Cant.	Descr.	Cant.
Inspecciones sensoriales	Diaria	Mecánico	1	0.5				
Termografía	Trimestral	Especialista	1	0.5	Cámara termográfica	1		
Análisis de vibraciones	Trimestral	Especialista	1	1	Analizador de vibraciones	1		

Fuente: Autor

Realizado por: Samaniego, Johana, 2019

4.2. Generador

En la Tabla 3-4, se encuentra el plan de mantenimiento para el generador.

Tabla 3-4: Plan de mantenimiento para el generador

Descripción del equipo	Generador											
	Frecuencia			Logística								
	1500	6000	12000	Materiales		Repuestos		Mano de Obra			Herramientas	
				Descr.	Cant.	Descr.	Cant.	Descr.	Cant.	Tiempo est.	Descripción	Cant.
Limpieza del disyuntor				Trapo	1			Eléctrico	2	1,5	Caja de herramientas eléctricas	1
								Supervisor Eléctrico	1	0,5		
Pruebas de parámetros de la excitatriz del generador				Limpiador de motores eléctricos	1			Eléctrico	1	5	Caja de herramientas eléctricas	1

Continuación Tabla 3-4

			Penetrante-Desoxidante WD-40	1						Equipo de medición de resistencia de aislamiento	1
			Trapos	1						Equipo de medición de resistencia baja DLRO	1
Limpieza del generador			Limpiador de motores eléctricos	4			Eléctrico	2	10,5	Caja de herramientas eléctricas	1
			Aceite hidráulico VISGA 68	2						Caja de herramientas electrónicas	1
			Brochas 1"	1						Torquímetro 1/2" 10-80 Lbs.	1
			Detergente 1000 GR	0,2						Llave de tubo 10"	1
			Teflón 1/2 - Rollo	1							
			Guaípe	5							
Limpieza del relé de sobre corriente del generador (NGR)			Trapos	1			Eléctrico	2	2	Caja de herramientas eléctricas	1
							Supervisor Eléctrico	1	1	Simuladores de protecciones eléctricas	1
Limpieza del transformador de corriente			Trapos	1			Eléctrico	2	2	Caja de herramientas eléctricas	1
							Supervisor Eléctrico	1	1	Simuladores de protecciones eléctricas	1
										Megger	1
Limpieza de resistencia de puesta a tierra NGR			Trapos	1			Eléctrico	2	2	Caja de herramientas eléctricas	1
							Supervisor Eléctrico	1	1		
Limpieza del relé para protección MDU			Trapos	1			Eléctrico	2	2	Caja de herramientas eléctricas	1
							Supervisor Eléctrico	1	1	Simuladores de protecciones eléctricas	1

Fuente: Autor

Realizado por: Samaniego, Johana, 2019

4.3. Intercambiadores de calor

En la Tabla 4-4, se encuentran las tareas de mantenimiento preventivo y basado en la condición para el intercambiador de calor de aceite.

Tabla 4-4: Plan de mantenimiento para el intercambiador de calor de aceite

Descripción del equipo	Intercambiador de calor de aceite													
	Frecuencia					Logística								
	1500	6000	12000	Diaria	Trimestral	Materiales		Repuestos		Mano de Obra			Herramientas	
						Descr.	Cant	Descr	Cant	Descr.	Cant	Tiempo est.	Descripción	Cant.
Reacondicionamiento cíclico						Trapo	2			Mecánico	2	16	Caja de herramientas mecánicas	1
						Desengrasante	1					1	Montacargas	2
						Grasa	1							
						Penetrante	3							
Limpieza del intercambiador de placas						Molicote	1			Mecánico	2	20	Caja de herramientas mecánicas	1
						Desengrasante	2						Hidrolavadora	1
						Loctite	15							
						Trapo	30							
Inspecciones sensoriales										Mecánico	1	0.5		
Termografía										Especialista	1	0.5	Cámara termográfica	1

Fuente: Autor

Realizado por: Samaniego, Johana, 2019

En la Tabla 5-4, se encuentran las tareas de mantenimiento preventivo y basado en la condición para el intercambiador de calor de agua

Tabla 5-4: Plan de mantenimiento para el intercambiador de calor de agua

Descripción del equipo	Intercambiador de calor de agua													
Descripción de la tarea	Frecuencia					Logística								
	1500	6000	12000	Diaria	Trimestral	Materiales		Repuestos		Mano de Obra			Herramientas	
						Descr.	Cant	Descr	Cant	Descr.	Cant	Tiempo est.	Descripción	Cant
Reacondicionamiento cíclico						Trapo	2			Mecánico	2	16	Caja de herramientas mecánicas	1
						Desengrasante	1					1	Montacargas	2
						Grasa	1							
						Penetrante	3							
Limpieza del intercambiador						Trapo	10			Mecánico	2	12	Caja de herramientas mecánicas	1
						Desengrasante	3						Hidrolavadora	1
Inspecciones sensoriales										Mecánico	1	0.5		
Termografía										Especialista	1	0.5	Cámara termográfica	1

Fuente: Autor

Realizado por: Samaniego, Johana, 2019

4.4. Panel de control

En la Tabla 6-4, se encuentran las tareas de mantenimiento preventivo y basado en la condición para el panel de control.

Tabla 6-4: Plan de mantenimiento para el panel de control

Descripción del equipo	Panel de control													
	Frecuencia					Logística								
	1500	6000	12000	Diari	Trime	Materiales		Repuestos		Mano de Obra			Herramientas	
Descr.						Cant	Descr.	Cant	Descr.	Cant	Tiempo est.	Descripción	Cant.	
Limpieza del intercambiador						Trapo	1			Eléctrico	2	2	Caja de herramientas eléctricas	1
										Supervisor Eléctrico	1	0,5		
Inspecciones sensoriales										Mecánico	1	0.5		
Termografía										Especialista	1	0.5	Cámara termográfica	1

Fuente: Autor

Realizado por: Samaniego, Johana, 2019

4.5. Válvulas y tuberías

En la Tabla 7-4, se encuentran las tareas de mantenimiento preventivo y basado en la condición para las válvulas y tuberías.

Tabla 7-4: Plan de mantenimiento para las válvulas y tuberías

Descripción del equipo	Panel de control													
	Frecuencia					Logística								
	1500	6000	12000	Diari	Trim	Materiales		Repuestos		Mano de Obra			Herramientas	
Descr.						Cant	Descr.	Cant	Descr.	Cant	Tiempo est.	Descripción	Cant.	
Limpieza de válvulas y tuberías						Trapo	1			Mecánico	1	20	Caja de herramientas mecánicas	1
						Desengrasante	1					2		
						Penetrante	2							
Inspecciones										Mecánico	1	0.5		

sensoriales														
-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Fuente: Autor

Realizado por: Samaniego, Johana, 2019

4.6 Evaluación de Resultados

Realizado e implantado el plan en la nueva Central térmica ITT se procedió a comparar los resultados con los que trabajaban las unidades de generación en el periodo de enero a diciembre 2018 y lo que se encuentra operando en el periodo enero a octubre 2019, con los valores de la disponibilidad para cada unidad de generación, se tiene un resultado positivo en la unidad de generación 47 que tuvo un incremento de la disponibilidad del 17%, como se muestra en el Gráfico 1-4, y un resultado negativo para la unidad de generación 56 debido a la ejecución de un mantenimiento correctivo y la falta de repuestos.

Tabla 8-4: Comparación de disponibilidad unidad 38

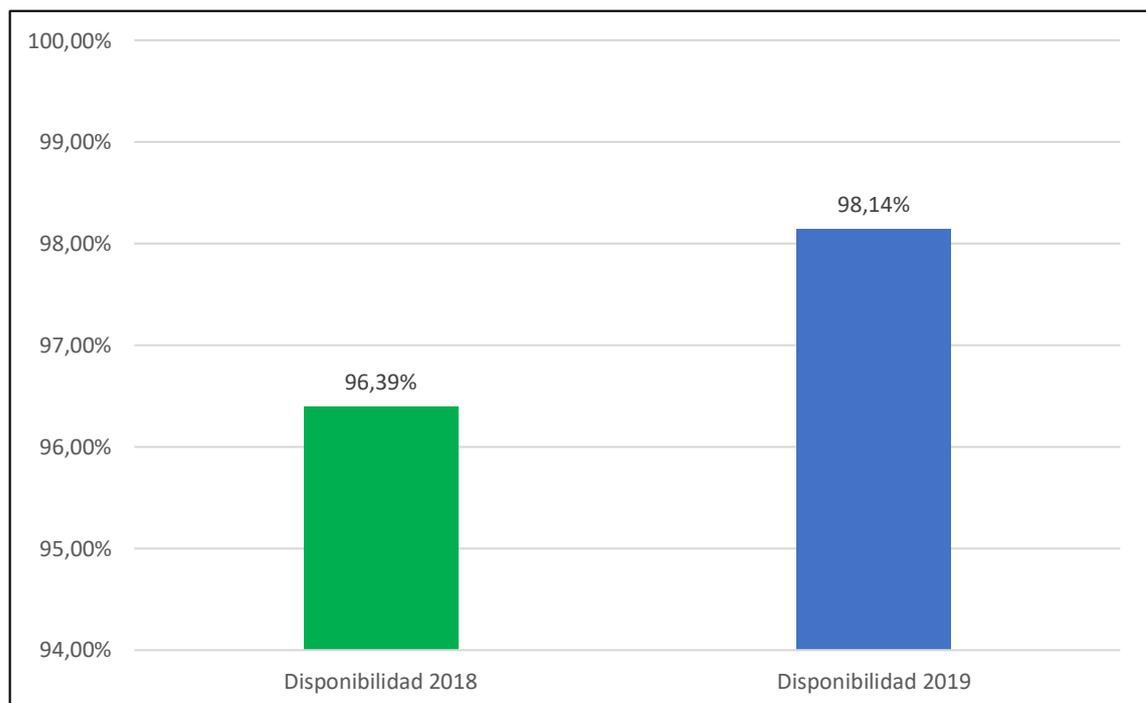
UNIDADES	Disponibilidad 2018	Disponibilidad 2019
UNIDAD 38	96,39%	98,14%

Fuente: Autor

Realizado por: Samaniego, Johana, 2019

En la unidad 38 existe un incremento de disponibilidad debido al buen manejo del plan de mantenimiento con respecto a frecuencias y tiempos para la ejecución de las tareas, además una coordinación con el departamento de bodega e inventarios.

Gráfico 1-4: Variación de la disponibilidad de la unidad 38



Fuente: Autor

Realizado por: Samaniego, Johana, 2019

Tabla 9-4: Comparación de la disponibilidad de la unidad 56

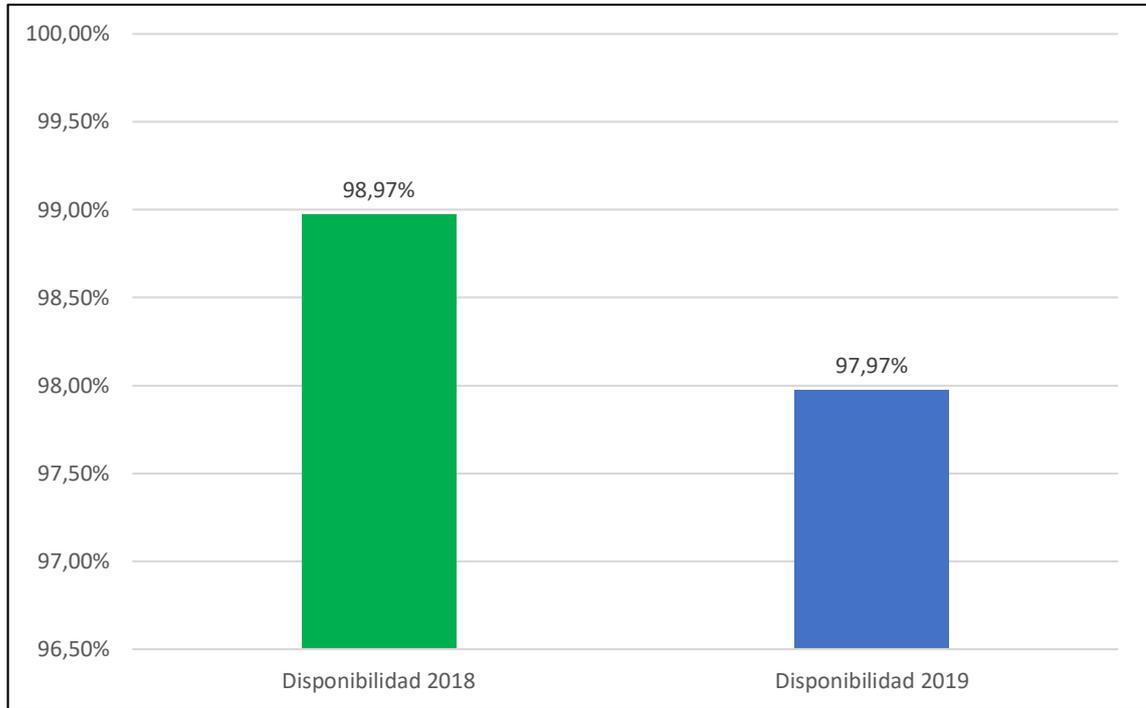
UNIDADES	Disponibilidad 2018	Disponibilidad 2019
UNIDAD 56	98,97%	97,97%

Fuente: Autor

Realizado por: Samaniego, Johana, 2019

En el análisis de la disponibilidad para la unidad 56 se tuvo una disminución debido a que la unidad se encontraba en mantenimiento programado y la falta de repuestos para ejecutar las tareas

Gráfico 2-4: Variación de la disponibilidad de la unidad 56



Fuente: Autor

Realizado por: Samaniego, Johana, 2019

Tabla 10-4: Comparación de la disponibilidad de la unidad 57

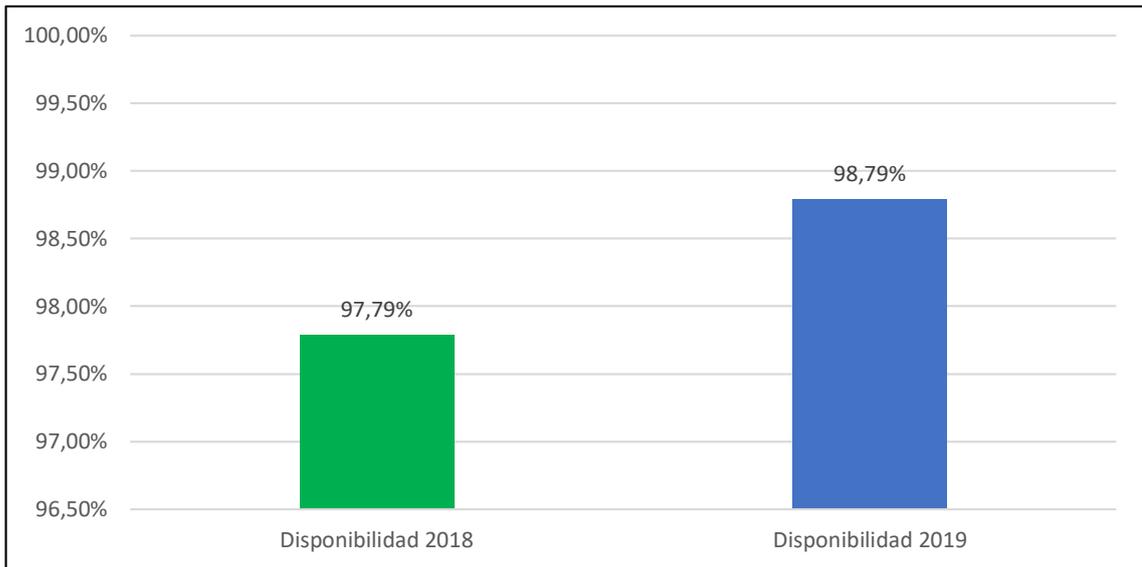
UNIDADES	Disponibilidad 2018	Disponibilidad 2019
UNIDAD 57	97,79	98,79%

Fuente: Autor

Realizado por: Samaniego, Johana, 2019

En la unidad 57 existe un incremento de disponibilidad debido al buen manejo del plan de mantenimiento con respecto a frecuencias y tiempos para la ejecución de las tareas, además una coordinación con el departamento de bodega e inventarios.

Gráfico 3-4: Variación de la disponibilidad de la unidad 57



Fuente: Autor

Realizado por: Samaniego, Johana, 2019

Tabla 11-4: Comparación de disponibilidad unidad 47

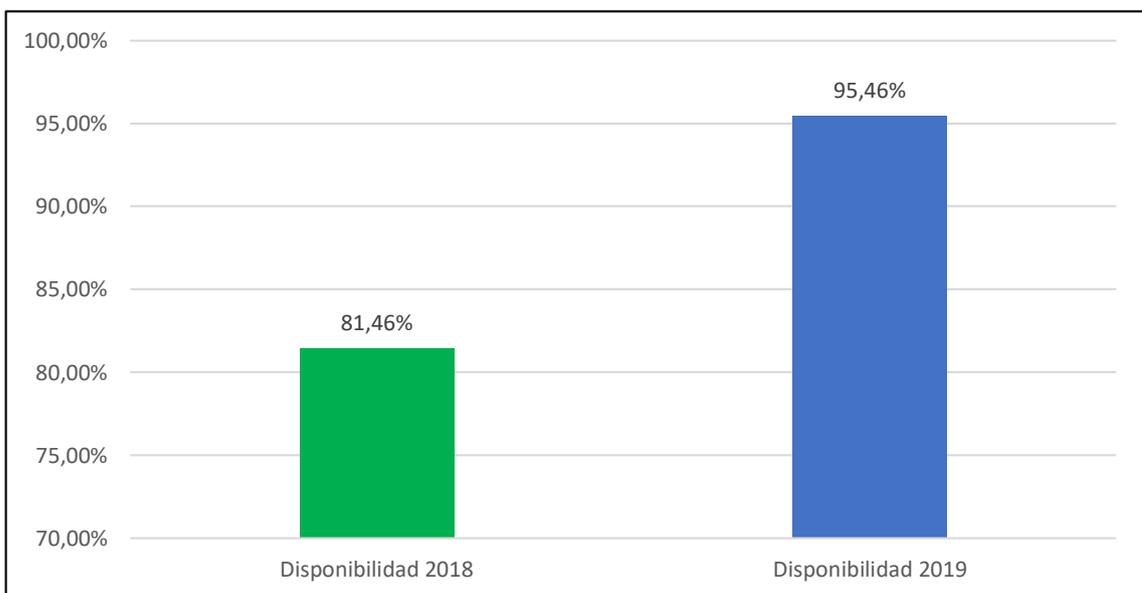
UNIDADES	Disponibilidad 2018	Disponibilidad 2019
UNIDAD 47	81,46%	95,46%

Fuente: Autor

Realizado por: Samaniego, Johana, 2019

En la unidad 47 existe un incremento de disponibilidad debido al buen manejo del plan de mantenimiento con respecto a frecuencias y tiempos para la ejecución de las tareas, además una coordinación con el departamento de bodega e inventarios.

Gráfico 4-4: Variación de la disponibilidad de la unidad 47



Fuente: Autor

Realizado por: Samaniego, Johana, 2019

Tabla 12-4: Comparación de la disponibilidad de la unidad 37

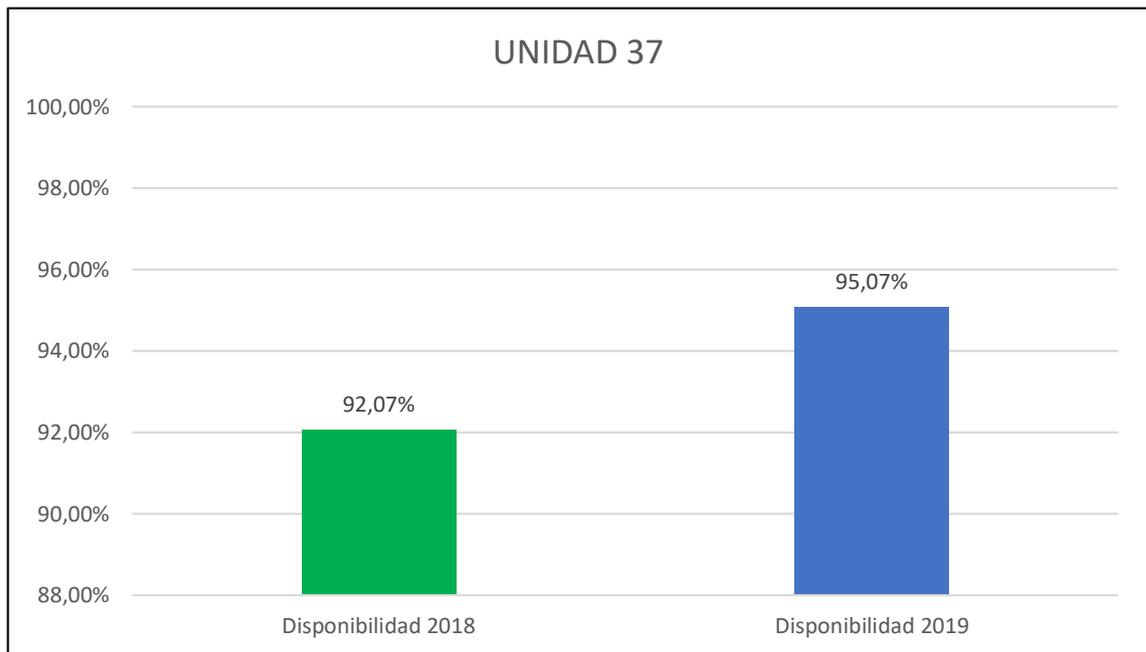
UNIDADES	Disponibilidad 2018	Disponibilidad 2019
UNIDAD 37	92,07%	95,07%

Fuente: Autor

Realizado por: Samaniego, Johana, 2019

En la unidad 37 existe un incremento de disponibilidad debido al buen manejo del plan de mantenimiento con respecto a frecuencias y tiempos para la ejecución de las tareas, además una coordinación con el departamento de bodega e inventarios.

Gráfico 5-4: Variación de la disponibilidad de la unidad 37



Fuente: Autor

Realizado por: Samaniego, Johana, 2019

La disponibilidad:

Tabla 13-4: Porcentaje de variación de la disponibilidad disponibilidad

UNIDADES	ΔD
UNIDAD 38	2%
UNIDAD 56	-1%
UNIDAD 57	1%
UNIDAD 47	17%
UNIDAD 37	3%

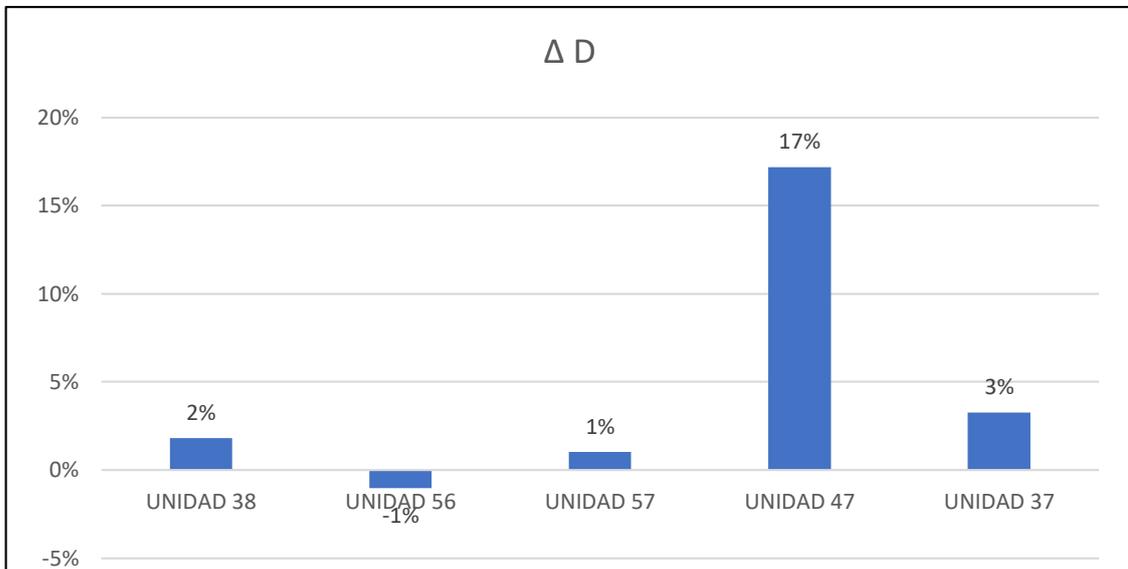
Fuente: Autor

Realizado por: Samaniego, Johana, 2019

En el análisis que se realizó para las unidades de generación, hay una variación en la disponibilidad del 17% en la unidad 47, esto se dio a que en el 2018 la unidad estaba en mantenimiento correctivo lo cual no se pudo realizar en un tiempo óptimo debido a la falta de

repuestos para la ejecución de la tareas correctiva en 2019 para el análisis se tiene que la disponibilidad subió según los cálculos efectuados por la empresa, el cálculo no se puede realizar debido a que la empresa ya no proporciona datos necesarios, y se toma la referencia de la disponibilidad con la que se encuentra operando CELEC EP en la actualidad

Gráfico 6-4: Variación de la disponibilidad de las unidades



Fuente: Autor

Realizado por: Samaniego, Johana, 2019

CONCLUSIONES

- La evaluación aplicada al plan de mantenimiento de las unidades HHI-Hyundai 9H21/32 de la central Quevedo durante el periodo enero a diciembre del año 2018, mediante indicadores de mantenimiento se evidencio índices aceptables, por lo cual, surge la necesidad de conservar y buscar mejorar estos valores a través del diseño del plan de mantenimiento realizado en el presente trabajo de titulación.
- La central térmica Quevedo cuenta con una codificación, que no ayuda de forma eficiente al área de mantenimiento, por lo tanto, se diseñó una nueva codificación para el área de mantenimiento que contiene tres niveles bajo los lineamientos de la norma ISO 14224.
- El análisis de criticidad aplicado para el presente trabajo de titulación fue mediante el método del flujograma, en el cual se analizan aspectos como: medio ambiente, seguridad, calidad, tiempo de trabajo de un activo, entrega, fiabilidad y mantenibilidad; dando como resultado equipos críticos: los motores de combustión interna, generadores, los intercambiadores de calor y equipos semicríticos: válvulas y tuberías.
- El análisis de modos de falla y efectos fue realizado con la ayuda de la información obtenida del historial de falla, el cual fue aplicado a los motores de combustión interna; obteniéndose 22 modos de falla. Además, se analizó si se desarrollaba el intervalo P-F, de lo cual, 8 modos de fallo cumplían con este criterio y los restantes no desarrollaban el intervalo.
- El estudio de factibilidad y sostenibilidad técnica se realizó mediante un análisis de los costos de mantenimiento correctivo, preventivo y basado en la condición. De lo cual, los costos de mantenimiento Preventivo son los más altos, los costos de mantenimiento correctivo están en segundo lugar y los costos de mantenimiento basado en la condición figuran en tercer lugar como los menos costosos de los tres analizados, por lo tanto, es válida la implementación de las tareas de mantenimiento basado en la condición recomendadas.
- La implementación del plan de mantenimiento basado en la condición es viable de acuerdo al análisis de sostenibilidad y factibilidad técnica, para lo cual, se definió los recursos necesarios y la frecuencia de mantenimiento, en consenso con el personal de mantenimiento de CELEC EP.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar una evaluación anual del plan de mantenimiento mediante los indicadores desarrollados en el presente trabajo de titulación.
- Se sugiere el diseño de documentación de mantenimiento donde se registre información específica referente a los fallos.
- Se debe plantear metas de confiabilidad y disponibilidad de manera mensual, para observar el comportamiento de estos dos indicadores, y tomar las decisiones para mejorarlas.

BIBLIOGRAFÍA

- AZOY, A.** “Método para el cálculo de indicadores de mantenimiento” *Revista INGENIERÍA AGRÍCOLA*, ISSN-2326-1545, RNPS-0622, Vol. 4, No. 4 (octubre-noviembre-diciembre), pp. 45-49, 201. 2014. Disponible en: <https://www.rcta.unah.edu.cu/index.php/IAgric/article/view/666/667>
- CAPOTEL, ANDY; et al.** “Evaluación de la gestión del mantenimiento y la reparación de los tractores mediante indicadores” [en línea]. Vol. 6. No. 2 (abril-mayo-junio), pp. 40-44, 2016. ISSN-2306-1545. REVISTA INGENIERÍA AGRÍCOLA. Disponible en: <https://revistas.unah.edu.cu/index.php/IAgric/article/view/817/0>
- CASTRO, ELICER.** *Proceso de codificación de equipos y aplicación del sistema sap en la gestión del mantenimiento en ampliación de la planta arauco remanufactura tres pinos.* (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad Austral de Chile. Escuela Ingeniería Mecánica. Valdivia, Chile 2006.
- FERNÁNDEZ, LUZ.** *Desarrollo de un plan de mantenimiento para la central hidroeléctrica de alcalá del río, aplicando criterios de confiabilidad (rcm)* [en línea]. S.l.: Universidad de Sevilla. 2015. Disponible en: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/90479/fichero/TFG+LUZ+MARIA+FERNANDEZ+BRAVO+2015%252FDESARROLLO+DEL+PROYECTO.pdf>
- GARCÍA, SANTIAGO; et al.** *Operación y Mantenimiento de Centrales de Ciclo Combinado.* [en línea]. S.l.: Ediciones Díaz de Santos, 2008. ISBN 9788479788421. Disponible en: <https://www.editdiazdesantos.com/wwwdat/pdf/9788479788421.pdf>
- GONZALEZ, J.** *Centrales Térmicas.* [en línea]. FACET.UNT.2014 Disponible en: <https://catedras.facet.unt.edu.ar/centraleselectricas/wp-content/uploads/sites/19/2014/10/Apunte-Central-TV-1.pdf>
- HUERTOS, DANIEL.** *MANTENIMIENTO PREDICTIVO DE TURBINAS DE GAS [en línea]. S.l.: UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR. 2011.* Disponible en: <https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/13295>
- ISO 14224:2016.** *Industrias de petróleo, petroquímica y gas natural — Recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos.*

ISO 17359:2011 , *Monitoreo de condición y diagnóstico de máquinas.*

MARTINEZ, CESAR. *IMPLEMENTACIÓN DE UNA ANALISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA EN UNA LINEA DE MANUFACTURA PARA JUGUETES. [en línea]. (Trabajo de titulación). (Postgrado). UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEÓN.* Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. División de Estudios de Postgrado. 2004. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/76584398.pdf>

NTP 331. *Fiabilidad: la distribución de Weibull*

MENDOZA, R. “*El análisis de criticidad, una metodología para mejorar la confiabilidad operacional*”. PDVSA, 2005. Petróleos de Venezuela. SA. Disponible en: <https://docplayer.es/14621533-El-analisis-de-criticidad-una-metodologia-para-mejorar-la-confiabilidad-operacional-1-definiciones-importantes-regresar.html>

MOUBRAY, J. *RCM II.* 2004. *Fistltri.* S.l.: s.n. ISBN 09539603-2-3.

PARRA, CARLOS ; & CRESPO, ADOLFO “*Ingeniería de mantenimiento y fiabilidad aplicada en gestión de activos : desarrollo y aplicación práctica de un modelo de gestión del mantenimiento (MGM)*” 2012.S.l.: Ingeman. ISBN 9788495499677.

UNE EN 61703:2016. *Expresiones matemáticas para los términos de fiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad y de logística de mantenimiento.*

UNE EN 15341:2008. *Mantenimiento. Indicadores clave de rendimiento de mantenimiento*

UNE EN 16646: 2015. *Mantenimiento. Mantenimiento en la gestión de los activos físicos.*

SABUGAL, SANTIAGO; & GÓMEZ FLORENTINO “*Centrales Térmicas de Ciclo Combinado. Teoría y Proyecto.*” S.l.: Ediciones Díaz de Santos. 2006. ISBN: 847978735X.

Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=bDKQqFM9tEYC&printsec=frontcover&dq=centrales+termicas+de+ciclo+combinado&hl=es419&sa=X&ved=0ahUKEwjaqLCXuejkAhUH2qwKHcSjD4YQ6AEIKDAA#v=onepage&q=centrales%20termicas%20de%20ciclo%20combinado&f=false>

SAE JA 1012:2002. *Una guía para la norma de mantenimiento Centrado en la Confiabilidad. Conceptos básicos.*

SAE JA 1011: 1999. *Criterios de Evaluación para procesos de Mantenimiento Centrado en*

Confiabilidad (RCM)

UNE EN 60300-3-11, 2013. *Gestión de la confiabilidad. Parte 3-11: Guía de aplicación. Mantenimiento centrado en la confiabilidad.*

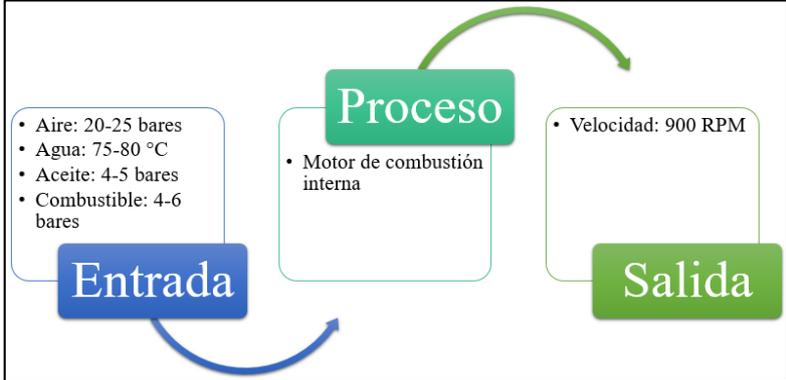
UNE-EN 13306:2011. *Mantenimiento. Terminología del mantenimiento.*

UNE-EN 16646:2015. *Mantenimiento. Mantenimiento en la gestión de activos físicos.*

ANEXOS

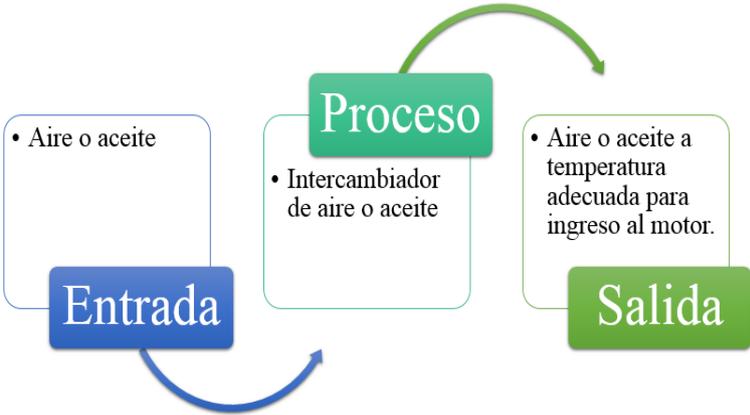
ANEXO A: Contexto Operacional

Motor de combustión interna

RESUMEN OPERATIVO			
Nombre del equipos	Motor de combustión interna	Sistema	Sistema de Generación
Ubicación Técnica		Código del equipo	
			
Jerarquización del sistema	Localización	Central Térmica Ishpingo Tiputini Tambococha	
	Área	Unidad de Generación	
	Equipo	Motor de combustión interna	
Propósito del sistema	Transformar la energía química contenida en los combustibles en energía mecánica a través de un eje de salida a una velocidad nominal 900 rpm con una potencia mecánica de 1800 kW		
Descripción del equipo	Es un motor de combustión interna de 4 tiempos con nueve cilindros en línea de marca Hyundai y Modelo 9H221/32. Con un régimen de baja velocidad (900 RPM), potencia de 1800 kW. El tipo de arranque es mediante aire comprimido a una presión de 20 a 25 bares. El tipo de combustible utilizado es diésel o combustible pesado		
Dispositivos de seguridad	Válvula termostática Sistema de control del motor		
Diagrama de Entrada, Proceso y Salida (EPS)	 <pre> graph LR Entrada[Entrada] --> Proceso[Proceso] Proceso --> Salida[Salida] </pre> <p> Entrada <ul style="list-style-type: none"> • Aire: 20-25 bares • Agua: 75-80 °C • Aceite: 4-5 bares • Combustible: 4-6 bares </p> <p> Proceso <ul style="list-style-type: none"> • Motor de combustión interna </p> <p> Salida <ul style="list-style-type: none"> • Velocidad: 900 RPM </p>		

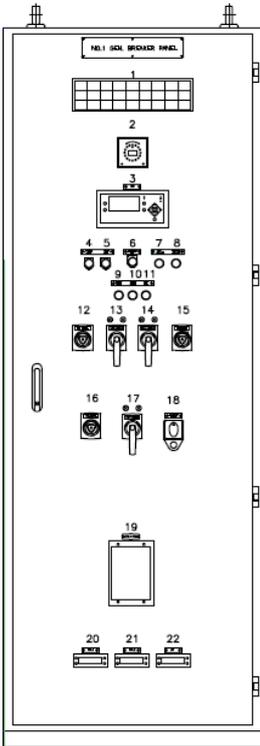
Metas de Seguridad/Ambientales/Operacionales	Seguridad: Cumplir con las normativas internas y externas para la correcta operación del equipo.										
	Ambientales: Cumplir con las normativas pertinentes sobre la emisión de gases de la combustión										
	Operacionales: Abastecer de energía eléctrica a las operaciones del campo 43 del ITT										
Planes futuros	Cumplir con el suministro de energía eléctrica para las operaciones del campo 43 del ITT										
PERSONAL											
Turnos rotativos	3 turnos diarios.										
Operación	El motor de combustión interna trabaja con crudo extraído del campo petrolero al que abastece, a 900 RPM y potencia de 1800 kW.										
Mantenimiento	El mantenimiento se lo realiza en base a manuales del fabricante y experiencia del personal de la empresa.										
DIVISIÓN DE PROCESO											
División del proceso en sistemas	<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td>Sistema de Aire</td> <td>Carcasa del motor</td> </tr> <tr> <td>Sistema de Combustión</td> <td>Sistema de inyección de combustible</td> </tr> <tr> <td>Sistema de control</td> <td>Sistema de conducción de energía</td> </tr> <tr> <td>Sistema de lubricación</td> <td>Sistema de enfriamiento</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Sistema de transmisión de potencia</td> </tr> </table>	Sistema de Aire	Carcasa del motor	Sistema de Combustión	Sistema de inyección de combustible	Sistema de control	Sistema de conducción de energía	Sistema de lubricación	Sistema de enfriamiento	Sistema de transmisión de potencia	
Sistema de Aire	Carcasa del motor										
Sistema de Combustión	Sistema de inyección de combustible										
Sistema de control	Sistema de conducción de energía										
Sistema de lubricación	Sistema de enfriamiento										
Sistema de transmisión de potencia											
Listado de componentes en cada sistema	<p>Sistema de Aire: Filtro de aire, Sistema de Combustión: cámaras de combustión, pistones Sistema de inyección de combustible: Inyectores, cañerías Sistema de control: Válvula termostática Sistema de lubricación: bomba de lubricación Sistema de enfriamiento: Válvula termostática Sistema de transmisión de potencia: Árbol de levas, Biela</p>										

Intercambiadores de calor

RESUMEN OPERATIVO			
Nombre del equipos	Intercambiadores de calor	Sistema	Sistema de Generación
Ubicación Técnica		Código del equipo	
			
Jerarquización del sistema	Localización	Central Térmica Ishpingo Tiputini Tambococha	
	Área	Unidad de Generación	
	Equipo	Intercambiadores de calor	
Propósito del sistema	Un intercambiador de calor es un radiador diseñado para transferir calor entre dos fluidos, o entre la superficie de un sólido y un fluido en movimiento. ¹ Son elementos fundamentales en los sistemas de calefacción, refrigeración, acondicionamiento de aire, producción de energía y procesamiento químico, además de en aparatos de la vida cotidiana como calentadores, frigoríficos, calderas, ordenadores, el radiador del motor de un automóvil, etc		
Descripción del equipo	Intercambiador de calor radiador, fluido a refrigerar agua, fluido refrigerante aire, flujo cruzado de 0.9 in de diámetro de ingreso y paneles de 2.2mm para paso del aire.		
Dispositivos de seguridad	Válvulas de alivio		
Diagrama de Entrada, Proceso y Salida (EPS)	 <pre> graph LR Entrada["• Aire o aceite"] --> Proceso["Intercambiador de aire o aceite"] Proceso --> Salida["• Aire o aceite a temperatura adecuada para ingreso al motor."] </pre>		

Metas de Seguridad/Ambientales/Operacionales	Seguridad: Cumplir con las normativas internas y externas para la correcta operación del equipo.
	Ambientales: Cumplir con las normativas pertinentes sobre el uso de los intercambiadores de calor utilizados.
	Operacionales: Abastecer de la temperatura adecuada al aire y al aceite que es utilizado para generar la energía eléctrica.
Planes futuros	Cumplir con el intercambio normal de la temperatura del aceite y del agua.
PERSONAL	
Turnos rotativos	3 turnos diarios.
Operación	Intercambiador de calor radiador, fluido a refrigerar agua, fluido refrigerante aire.
Mantenimiento	El mantenimiento se lo realiza en base a manuales del fabricante y experiencia del personal de la empresa.
DIVISIÓN DE PROCESO	
División del proceso en sistemas	Ingreso de combustible Intercambio de calor Salida del combustible Carcasa Sistemas de seguridad
Listado de componentes en cada sistema	Ingreso de combustible: entrada del fluido del lado de los tubos. Intercambio de calor: deflectores, cabezal flotante, placa tubular, entrada del fluido del lado de la carcasa, haz de tubos. Salida del combustible: salida del fluido del lado de los tubos. Carcasa: cuerpo del intercambiador Sistemas de seguridad: Válvulas de alivio.

Panel de control

RESUMEN OPERATIVO			
Nombre del equipos	Panel de control	Sistema	Sistema de Generación
Ubicación Técnica		Código del equipo	
 <p>El diagrama muestra un panel de control eléctrico con los siguientes componentes numerados: 1. Tablero de terminales superior; 2. Relé térmico; 3. Fusibles; 4-8. Botones de control; 9-11. Indicadores de estado; 12-15. Botones de parada y emergencia; 16-18. Botones de control adicionales; 19. Panel de control principal; 20-22. Botones de control inferior.</p>			
Jerarquización del sistema	Localización	Central Térmica Ishpingo Tiputini Tambococha	
	Área	Unidad de Generación	
	Equipo	Panel de control	
Propósito del sistema	Los tableros de automatización y control eléctricos son paneles donde se encuentran instrumentos para la conexión, control, maniobra, protección, medida, señalización y distribución, todos estos pequeños dispositivos que integran el tablero eléctrico permiten que una instalación eléctrica funcione correctamente		
Descripción del equipo	Control de la unidad de generación digital y analógica, con un gobernador hidroneumático, controlado por un motor DC, y un controlador de velocidad "basilic", para el sincronismo del alternador		
Dispositivos de seguridad	Rele térmico Bimetálico Fusibles Botón de paro		

<p>Diagrama de Entrada, Proceso y Salida (EPS)</p>	
<p>Metas de Seguridad/Ambientales/Operacionales</p>	<p>Seguridad: Cumplir con las normativas internas y externas para la correcta operación del equipo.</p> <p>Ambientales: Cumplir con las normativas pertinentes sobre los controles de los equipos</p> <p>Operacionales: Controlar y automatizar todos los sistemas de la unidades de generación.</p>
<p>Planes futuros</p>	<p>Controlar y automatizar todos los sistemas de las unidades de generación del campo 43 del ITT</p>
<p>PERSONAL</p>	
<p>Turnos rotativos</p>	<p>3 turnos diarios.</p>
<p>Operación</p>	<p>Control de la unidad de generación digital y analógica, con un governor hidroneumático, controlado por un motor DC, y un controlador de velocidad “basilic”, para el sincronismo del alternador</p>
<p>Mantenimiento</p>	<p>El mantenimiento se lo realiza en base a manuales del fabricante y experiencia del personal de la empresa.</p>
<p>DIVISIÓN DE PROCESO</p>	
<p>División del proceso en sistemas</p>	<p>Centro de control de motores inteligentes en baja tensión. Tableros de automatización y control. Tableros para analizadores de gases industriales. Tableros de distribución eléctrica</p>
<p>Listado de componentes en cada sistema</p>	<p>Centro de control de motores inteligentes en baja tensión Tableros de automatización y control. Tableros para analizadores de gases industriales. Tableros de distribución eléctrica</p>

Generador

RESUMEN OPERATIVO			
Nombre del equipos	Generador	Sistema	Sistema de Generación
Ubicación Técnica		Código del equipo	
			
Jerarquización del sistema	Localización	Central Térmica Ishpingo Tiputini Tambococha	
	Área	Unidad de Generación	
	Equipo	Generador	
Propósito del sistema	Un generador es una máquina eléctrica rotativa que transforma energía mecánica en energía eléctrica. Lo consigue gracias a la interacción de los dos elementos principales que lo componen: la parte móvil llamada rotor, y la parte estática que se denomina estator.		
Descripción del equipo	Un alternador, de polos salientes, sin escobillas a 1.7mw, de 8 polos, con un voltaje de 4.16kv en cada una de las 3 fases y con una clase de aislamiento F		
Dispositivos de seguridad	Fusibles Protecciones eléctricas Disyuntores Boton de paro		

<p>Diagrama de Entrada, Proceso y Salida (EPS)</p>	
<p>Metas de Seguridad/Ambientales/Operacionales</p>	<p>Seguridad: Cumplir con las normativas internas y externas para la correcta operación del equipo.</p> <p>Ambientales: Cumplir con las normativas pertinentes sobre la emisión de gases de la combustión</p> <p>Operacionales: Abastecer de energía eléctrica a las operaciones del campo 43 del ITT</p>
<p>Planes futuros</p>	<p>Cumplir con el suministro de energía eléctrica para las operaciones del campo 43 del ITT</p>
<p>PERSONAL</p>	
<p>Turnos rotativos</p>	<p>3 turnos diarios.</p>
<p>Operación</p>	<p>Un generador es una máquina eléctrica rotativa que transforma energía mecánica en energía eléctrica. Lo consigue gracias a la interacción de los dos elementos principales que lo componen: la parte móvil llamada rotor, y la parte estática que se denomina estator.</p>
<p>Mantenimiento</p>	<p>El mantenimiento se lo realiza en base a manuales del fabricante y experiencia del personal de la empresa.</p>
<p>DIVISIÓN DE PROCESO</p>	
<p>División del proceso en sistemas</p>	<p>Alternador Sistema de movimiento Sistema de lubricación Carcasa Sistema de generación</p>
<p>Listado de componentes en cada sistema</p>	<p>Alternador: Rotor y estator Sistema de movimiento: Eje Sistema de lubricación: chumaceras, aceite dielectrico Carcasa: Cuerpo Sistema de generación: inducido, cableado.</p>

Tuberías y válvulas

RESUMEN OPERATIVO			
Nombre del equipos	Tuberías y válvulas	Sistema	Sistema de Generación
Ubicación Técnica		Código del equipo	
			
Jerarquización del sistema	Localización	Central Térmica Ishpingo Tiputini Tambococha	
	Área	Unidad de Generación	
	Equipo	Tuberías y válvulas	
Propósito del sistema	Elemento mecánico se emplea para regular, permitir o impedir el paso de un fluido a través de una instalación industrial o máquina de cualquier tipo.		
Descripción del equipo	Ingreso y salida de fluidos para controlar condiciones normales de funcionamiento de la unidad.		
Dispositivos de seguridad	Válvulas de alivio Válvulas de corte		

<p>Diagrama de Entrada, Proceso y Salida (EPS)</p>	
<p>Metas de Seguridad/Ambientales/Operacionales</p>	<p>Seguridad: Cumplir con las normativas internas y externas para la correcta operación del equipo.</p> <p>Ambientales: Cumplir con las normativas pertinentes sobre el control y distribución de aire, agua y aceite que sirven para el proceso de generación eléctrica</p> <p>Operacionales: Abastecer y controlar los diferentes que ingresan y salen de las unidades de generación eléctrica para las diferentes operaciones del campo 43 del ITT</p>
<p>Planes futuros</p>	<p>Continuar suministrando y controlando los ingresos y salidas de aire, agua y aceite que ayuden a las operaciones del campo 43 del ITT.</p>
<p>PERSONAL</p>	
<p>Turnos rotativos</p>	<p>3 turnos diarios.</p>
<p>Operación</p>	<p>Ingreso y salida de fluidos para controlar condiciones normales de funcionamiento de la unidad.</p>
<p>Mantenimiento</p>	<p>El mantenimiento se lo realiza en base a manuales del fabricante y experiencia del personal de la empresa.</p>
<p>DIVISIÓN DE PROCESO</p>	
<p>División del proceso en sistemas</p>	<p>Sistema de ingreso Sistema de control Sistema de seguridad Sistema de salida</p>
<p>Listado de componentes en cada sistema</p>	<p>Sistema de ingreso: accesorios y tuberías Sistema de control: válvulas, manómetros, solenoides. Sistema de seguridad: válvulas de alivio y corte. Sistema de salida: accesorios y tuberías.</p>

ANEXO B: AMEF

AMEF de un generador

Análisis de Modo de falla y efectos									
Sistema			Unidad de generación						
Subsistema			Generador						
Función	Falla funcional	Modos de fallo				Efecto de falla	Consecuencias de falla		
		NIVEL 1		NIVEL 2					
2	Transformar energía mecánica en energía eléctrica. Lo consigue mediante la interacción de dos elementos principales que lo componen: la parte móvil llamada rotor, y la parte estática que se denomina estator.	A	No genera los 220 para la alimentación.	A.1.	Agarrotamiento entre los engranajes del arranque automático			Se puede notar que existe un ruido durante el intento de arranque debido a los engranajes rotos o agarrotamiento de los engranajes.	Consecuencia operacional
			A.2.	Engranajes rotos del motor de arranque neumático			Consecuencia operacional		
		B	El equipo no alcanza la velocidad nominal de 900 RPM	B.1.	Conductor deteriorado del Motor de DC del Gobernador			Se evidencia que el desgaste del conductor conlleva a que el motor no alcance la velocidad de trabajo esperado, resultando en un retraso en la producción eléctrica.	Consecuencia de falla oculta
				B.2.	Obstrucción del filtro de combustible	B.2.1.	Falta de limpieza del filtro de combustible	Se evidencia que el equipo no puede alcanzar su velocidad de trabajo, observándose una caída de presión visible en los manómetros del sistema de combustible.	Consecuencia operacional
		C	El equipo gira a velocidades superiores a 900 RPM	C.1.	Cremalleras atascadas			Se puede notar que existe un ruido anormal, además de evidenciarse un alza en el consumo de combustible.	Consecuencia operacional
				C.2.	Líneas del control del aire obstruidas			El flujo de combustible no puede ser controlado y existe un exceso de presión de aire en un solo punto	Consecuencia operacional
				C.3.	Falta de calibración del GAP de los sensores de velocidad			La velocidad visualizada en los controladores es inexacta debido a la falta de calibración.	Consecuencia operacional
		D	El equipo no alcanza la potencia nominal de 1800 KW	D.1.	Válvulas de admisión y escape quemadas o flameadas	D.1.1.	Bajo octanaje del combustible utilizado	Se evidencia en una alta temperatura en los cilindros, tendiendo a darse un tratamiento térmico modificándose sus propiedades que puede acortar la vida útil esperada.	Consecuencia operacional

Continuación Tabla de Anexo B

			D.2.	Tobera del inyector desgastada				Consecuencia de falla oculta
			D.3.	Cremalleras agarrotadas				Consecuencia operacional
					D.15.2.	Rines del pistón desgastados		

Fuente: Autor

Realizado por: Samaniego, Johana, 2019

AMEF de un tablero de control

Análisis de Modo de falla y efectos

Sistema		Unidad de generación						
Subsistema		Tablero de control						
Función	Falla funcional	Modos de fallo				Efecto de falla	Consecuencias de falla	
		NIVEL 1		NIVEL 2				
3	A	El equipo no rompe la inercia durante el arranque	A.1.	Agarrotamiento entre los engranajes del arranque automático			Se puede notar que existe un ruido durante el intento de arranque debido a los engranajes rotos o agarrotamiento de los engranajes.	Consecuencia operacional
			A.2.	Engranajes rotos del motor de arranque neumático				Consecuencia operacional
	B	El equipo no alcanza la velocidad nominal de 900 RPM	B.1.	Conductor deteriorado del Motor de DC del Gobernador			Se evidencia que el desgaste del conductor conlleva a que el motor no alcance la velocidad de trabajo esperado, resultando en un retraso en la producción eléctrica.	Consecuencia de falla oculta
			B.2.	Obstrucción del filtro de combustible	B.2.1.	Falta de limpieza del filtro de combustible	Se evidencia que el equipo no puede alcanzar su velocidad de trabajo, observándose una caída de presión visible en los manómetros del sistema de combustible.	Consecuencia operacional
	C	El equipo gira a velocidades superiores a 900 RPM	C.1.	Cremalleras atascadas			Se puede notar que existe un ruido anormal, además de evidenciarse un alza en el consumo de combustible.	Consecuencia operacional
			C.2.	Líneas del control del aire obstruidas			El flujo de combustible no puede ser controlado y existe un exceso de presión de aire en un solo punto	Consecuencia operacional
			C.3.	Falta de calibración del GAP de los sensores de velocidad			La velocidad visualizada en los controladores es inexacta debido a la falta de calibración.	Consecuencia operacional
					D.15.2.	Rines del pistón desgastados		

Fuente: Autor

Realizado por: Samaniego, Johana, 2019

ANEXO C: Costos de la Empresa

Determinación de costos fijos y variables

DETERMINACIÓN DE COSTOS FIJOS y VARIABLES

EMPRESA CELEC EP - TERMOPICHINCHA
 CENTRAL ITT
 UNIDAD _____
 PERIODO 2018

FO CVP 003_03

COSTO FIJO	USD/MES	774.462	
COSTO VARIABLE	USD/kWh	0,069566	
		0	Con o Sin Combustible
CV combustible	USD/kWh	0,017842	
CV Otros	USD/kWh	0,051724	
ESTIMACIÓN COSTO MENSUAL	USD/MES	1.081.890,43	
Potencia instalada	kW	30.000,00	
Disponibilidad comprometida	kW	80%	
Horas mes	h/mes	720,00	
Factor de utilización	%	90%	
Energía suministrada	kWh	15.552.000	
ESTIMACIÓN COSTO VARIABLE	USD/MES	1.081.890	
ESTIMACIÓN COSTO TOTAL	USD/MES	1.856.352	
ESTIMACIÓN COSTO UNITARIO	USD/kWh	0,119	

Determinación de los costos fijos

DETERMINACIÓN DE COSTOS FIJOS

EMPRESA	CELEC EP - TERMOPICHINCHA	FO CVP 003_03
CENTRAL	ITT	
UNIDAD		
PERIODO	2019	

CAPACIDAD DE GENERACIÓN	kW	22.500
Capacidad por Unidad de Generacion	kW	1.500
Cantidad de Unidades		20
COSTOS DE DEPRECIACIÓN	USD/MES	244.401
Depreciación	USD/AÑO	1.940.388
Depreciación Servicios comunes	USD/AÑO	992.424
COSTOS SEGUROS	USD/MES	39.250
COSTOS DE AO&M	USD/MES	490.811
Costo de administración UN	USD/MES	75.000
Costo de infraestructura	USD/MES	45.000
Costo de administración de la Central	USD/MES	32.655
Costos de OyM de la Central	USD/MES	299.156
Costos financiero (pago interés)	USD/MES	39.000
COSTOS FIJOS	USD/MES	774.462

Determinación de los costos variables de producción

DETERMINACIÓN DE COSTOS VARIABLES DE PRODUCCIÓN

EMPRESA	CELEC EP - TERMOPICHINCHA	FO CVP 003_03	
CENTRAL	ITT		
UNIDAD			
PERIODO	2019		
GB Generación Bruta	kWh	270.000.000	270.000.000
Ciclo Operativo	horas	12.000,00	12.000,00
Potencia Efectiva	kW	22.500,00	22.500,00
CC Costos de combustible	USD/kWh	0,012250	-
Precio combustible 1	USD/gal	0,00000000	
Consumo combustible 1	%	80,00	
Precio combustible 2	USD/gal	0,918718	
Consumo combustible 2	%	20,00	
Rendimiento	kWh/gal	15,00	
Potencia (orden creciente)	MW	22,00	
CTC Costos de transporte de combustible	USD/kWh	0,005593	
Precio transporte combustible 1	USD/gal		
Precio transporte combustible 2	USD/gal	0,4194	
CLYO Costos de lubricantes, químicos y otros	USD/kWh	0,010645	0,010645
<u>Costo de lubricantes, químicos y otros</u>	USD	2.874.021,04	2.874.021,04
CAP Costos del agua potable	USD/kWh	-	-
Precio agua potable	USD/m3	-	-
Consumo agua potable	m3	-	-
CM Costos de mantenimiento	USD/kWh	0,030646	0,030646
<u>Valor de repuestos</u>	USD	6.496.910,37	6.496.910,37
<u>Valor de otros insumos</u>	USD	1.025.000,00	1.025.000,00
<u>Valor mano de obra adicional</u>	USD	752.500,00	752.500,00
CVIAM Control de SSA	USD/kWh	0,010432	0,000892
Costo de control de impacto ambiental	USD	2.816.666,66	240.966,66
CEE Costos de energía eléctrica para SS.AA.	USD/kWh	0,000002	
Consumo de energía para SS.AA.	kWh	6.075	6.075
CC Costos de combustible	USD/kWh	0,017842	-
CC Costos de Otros	USD/kWh	0,051724	0,042183
CVP Costo Variable de Producción	USD/kWh	0,0695660	0,0421830

Costos de mantenimiento

CM

Costos de Mantenimiento USD 6.496.910,37 1.025.000,00 752.500,00 8.274.410,37

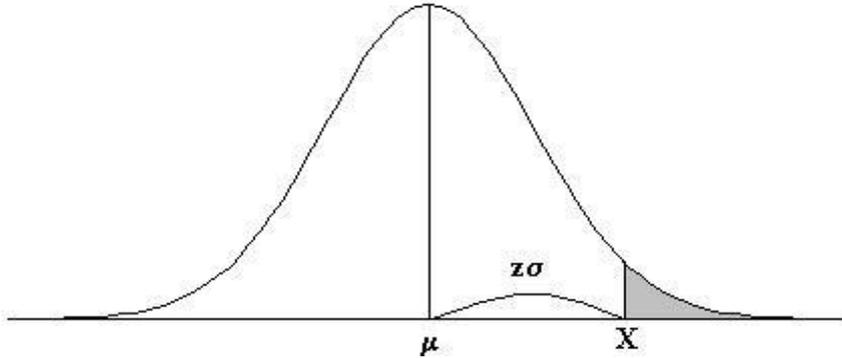
EMPRESA CELEC EP - TERMOPICHINCHA
CENTRAL ITT
UNIDAD
MES 2019

Item	Descripción del mantenimiento	DECLARACION PROPUESTA		
		Repuestos USD	Insumos USD	Mano Obra USD
1	1 Mantenimientos 1500 horas	0	0	0
	repuestos 1	162.851,08	-	-
	Insumos 1	-	21.000,00	-
	Mano de obra adicional	-	-	38.000,00
		-	-	-
2	1 Mantenimientos 3000 horas	0	0	0
	repuestos 1	162.851,08	-	-
	Insumos 1	-	21.000,00	-
	Mano de obra adicional	-	-	38.000,00
		-	-	-
3	1 Mantenimientos 4500 horas	0	0	0
	repuestos 1	162.851,08	-	-
	Insumos 1	-	21.000,00	-
	Mano de obra adicional	-	-	38.000,00
		-	-	-
4	1 Mantenimiento 6000 horas	0	0	0
	repuestos 1	1.020.533,41	-	-
	Insumos 1	-	125.000,00	-
	Mano de obra adicional	-	-	45.000,00
		-	-	-
5	1 Mantenimiento 7500 horas	0	0	0
	repuestos 1	162.851,08	-	-
	Insumos 1	-	125.000,00	-
	Mano de obra adicional	-	-	32.500,00
		-	-	-
6	1 Mantenimiento 9000 horas	0	0	0
	repuestos 1	162.851,08	-	-
	Insumos 1	-	21.000,00	-
	Mano de obra adicional	-	-	38.000,00
		-	-	-
7	1 Mantenimiento 15000 horas	0	0	0
	repuestos 1	162.851,08	-	-
	Insumos 1	-	21.000,00	-
	Mano de obra adicional	-	-	38.000,00
		-	-	-
8	1 Mantenimiento 12000 horas	0	0	0
	repuestos 1	2.605.507,23	-	-
	Insumos 1	-	280.000,00	-
	Mano de obra adicional	-	-	120.000,00
		-	-	-
9	1 Mantenimiento Auxiliares(Rutinario)	-	-	-
	repuestos 1	1.893.763,27	-	-
	Insumos 1	-	390.000,00	-
	Mano de obra adicional	-	-	365.000,00
		-	-	-

ANEXO D: Tablas de la Distribución Normal.

TABLA 1: DISTRIBUCIÓN NORMAL

Áreas bajo la curva normal



Ejemplo:

X P

Z _____

V

$P [Z > 1] = 0.1587$

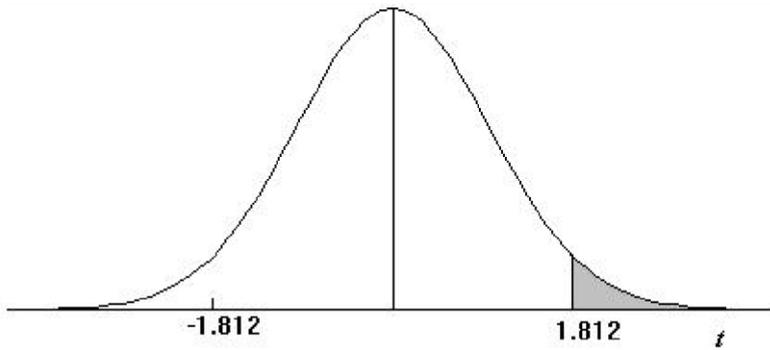
$P [Z > 1.96] = 0.0250$

Desv. normal x	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.5000	0.4960	0.4920	0.4880	0.4840	0.4801	0.4761	0.4721	0.4681	0.4641
0.1	0.4602	0.4562	0.4522	0.4483	0.4443	0.4404	0.4364	0.4325	0.4286	0.4247
0.2	0.4207	0.4168	0.4129	0.4090	0.4052	0.4013	0.3974	0.3936	0.3897	0.3859
0.3	0.3821	0.3783	0.3745	0.3707	0.3669	0.3632	0.3594	0.3557	0.3520	0.3483
0.4	0.3446	0.3409	0.3372	0.3336	0.3300	0.3264	0.3228	0.3192	0.3156	0.3121
0.5	0.3085	0.3050	0.3015	0.2981	0.2946	0.2912	0.2877	0.2843	0.2810	0.2776
0.6	0.2743	0.2709	0.2676	0.2643	0.2611	0.2578	0.2546	0.2514	0.2483	0.2451
0.7	0.2420	0.2389	0.2358	0.2327	0.2296	0.2266	0.2236	0.2206	0.2177	0.2148
0.8	0.2119	0.2090	0.2061	0.2033	0.2005	0.1977	0.1949	0.1922	0.1894	0.1867
0.9	0.1841	0.1814	0.1788	0.1762	0.1736	0.1711	0.1685	0.1660	0.1635	0.1611

1.0	0.1587	0.1562	0.1539	0.1515	0.1492	0.1469	0.1446	0.1423	0.1401	0.1379
1.1	0.1357	0.1335	0.1314	0.1292	0.1271	0.1251	0.1230	0.1210	0.1190	0.1170
1.2	0.1151	0.1131	0.1112	0.1093	0.1075	0.1056	0.1038	0.1020	0.1003	0.0985
1.3	0.0968	0.0951	0.0934	0.0918	0.0901	0.0885	0.0869	0.0853	0.0838	0.0823
1.4	0.0808	0.0793	0.0778	0.0764	0.0749	0.0735	0.0721	0.0708	0.0694	0.0681
1.5	0.0668	0.0655	0.0643	0.0630	0.0618	0.0606	0.0594	0.0582	0.0571	0.0559
1.6	0.0548	0.0537	0.0526	0.0516	0.0505	0.0495	0.0485	0.0475	0.0465	0.0455
1.7	0.0446	0.0436	0.0427	0.0418	0.0409	0.0401	0.0392	0.0384	0.0375	0.0367
1.8	0.0359	0.0351	0.0344	0.0336	0.0329	0.0322	0.0314	0.0307	0.0301	0.0294
1.9	0.0287	0.0281	0.0274	0.0268	0.0262	0.0256	0.0250	0.0244	0.0239	0.0233
2.0	0.0228	0.0222	0.0217	0.0212	0.0207	0.0202	0.0197	0.0192	0.0188	0.0183
2.1	0.0179	0.0174	0.0170	0.0166	0.0162	0.0158	0.0154	0.0150	0.0146	0.0143
2.2	0.0139	0.0136	0.0132	0.0129	0.0125	0.0122	0.0119	0.0116	0.0113	0.0110
2.3	0.0107	0.0104	0.0102	0.0099	0.0096	0.0094	0.0091	0.0089	0.0087	0.0084
2.4	0.0082	0.0080	0.0078	0.0075	0.0073	0.0071	0.0069	0.0068	0.0066	0.0064
2.5	0.0062	0.0060	0.0059	0.0057	0.0055	0.0054	0.0052	0.0051	0.0049	0.0048
2.6	0.0047	0.0045	0.0044	0.0043	0.0041	0.0040	0.0039	0.0038	0.0037	0.0036
2.7	0.0035	0.0034	0.0033	0.0032	0.0031	0.0030	0.0029	0.0028	0.0027	0.0026
2.8	0.0026	0.0025	0.0024	0.0023	0.0023	0.0022	0.0021	0.0021	0.0020	0.0019
2.9	0.0019	0.0018	0.0018	0.0017	0.0016	0.0016	0.0015	0.0015	0.0014	0.0014
3.0	0.0013	0.0013	0.0013	0.0012	0.0012	0.0011	0.0011	0.0011	0.0010	0.0010

TABLA 2: DISTRIBUCIÓN DE STUDENT

Puntos de porcentaje de la distribución t



Ejemplo

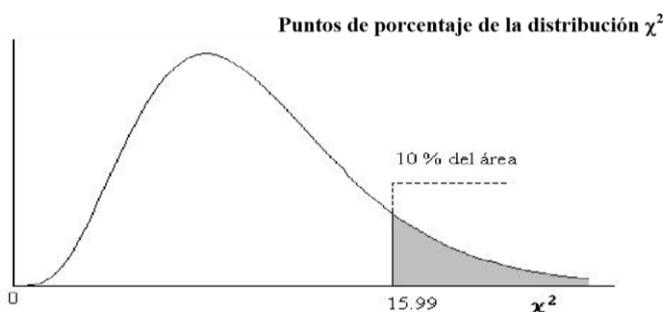
Para $\phi = 10$ grados de libertad:

$$P[t > 1.812] = 0.05$$

$$P[t < -1.812] = 0.05$$

α γ	0,25	0,2	0,15	0,1	0,05	0,025	0,01	0,005	0,0005
1	1,000	1,376	1,963	3,078	6,314	12,706	31,821	63,656	636,578
2	0,816	1,061	1,386	1,886	2,920	4,303	6,965	9,925	31,600
3	0,765	0,978	1,250	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841	12,924
4	0,741	0,941	1,190	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604	8,610
5	0,727	0,920	1,156	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032	6,869
6	0,718	0,906	1,134	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707	5,959
7	0,711	0,896	1,119	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499	5,408
8	0,706	0,889	1,108	1,397	1,860	2,306	2,896	3,355	5,041
9	0,703	0,883	1,100	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250	4,781
10	0,700	0,879	1,093	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169	4,587
11	0,697	0,876	1,088	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106	4,437
12	0,695	0,873	1,083	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055	4,318
13	0,694	0,870	1,079	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012	4,221
14	0,692	0,868	1,076	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977	4,140
15	0,691	0,866	1,074	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947	4,073
16	0,690	0,865	1,071	1,337	1,746	2,120	2,583	2,921	4,015
17	0,689	0,863	1,069	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898	3,965
18	0,688	0,862	1,067	1,330	1,734	2,101	2,552	2,878	3,922
19	0,688	0,861	1,066	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861	3,883
20	0,687	0,860	1,064	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845	3,850
21	0,686	0,859	1,063	1,323	1,721	2,080	2,518	2,831	3,819
22	0,686	0,858	1,061	1,321	1,717	2,074	2,508	2,819	3,792
23	0,685	0,858	1,060	1,319	1,714	2,069	2,500	2,807	3,768
24	0,685	0,857	1,059	1,318	1,711	2,064	2,492	2,797	3,745
25	0,684	0,856	1,058	1,316	1,708	2,060	2,485	2,787	3,725
26	0,684	0,856	1,058	1,315	1,706	2,056	2,479	2,779	3,707
27	0,684	0,855	1,057	1,314	1,703	2,052	2,473	2,771	3,689
28	0,683	0,855	1,056	1,313	1,701	2,048	2,467	2,763	3,674
29	0,683	0,854	1,055	1,311	1,699	2,045	2,462	2,756	3,660
30	0,683	0,854	1,055	1,310	1,697	2,042	2,457	2,750	3,646
40	0,681	0,851	1,050	1,303	1,684	2,021	2,423	2,704	3,551
60	0,679	0,848	1,045	1,296	1,671	2,000	2,390	2,660	3,460
120	0,677	0,845	1,041	1,289	1,658	1,980	2,358	2,617	3,373
∞	0,674	0,842	1,036	1,282	1,645	1,960	2,326	2,576	3,290

TABLA 3: DISTRIBUCIÓN χ^2



Ejemplo:
Para $\phi = 10$ grados de libertad

$$P[\chi^2 > 15.99] = 0.10$$

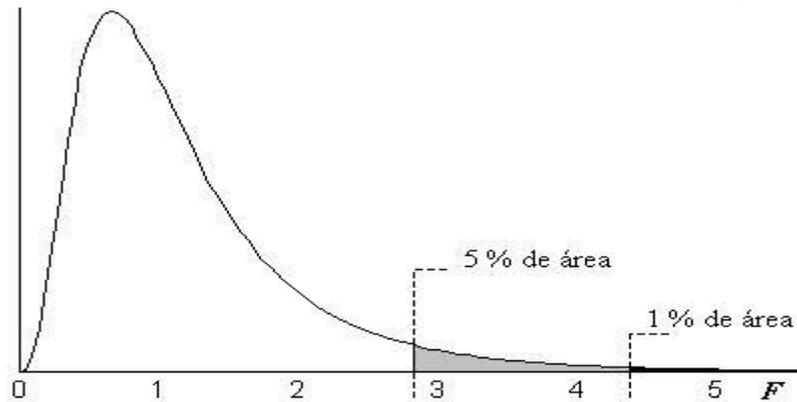
$\frac{\pi}{\phi}$	0.995	0.99	0.975	0.95	0.9	0.75	0.5	0.25	0.1	0.05	0.025	0.01	0.005	$\frac{\pi}{\phi}$
1	3.93E-05	1.57E-04	9.82E-04	3.93E-03	1.58E-02	0.102	0.455	1.323	2.71	3.84	5.02	6.63	7.88	1
2	1.00E-02	2.01E-02	5.06E-02	0.103	0.211	0.575	1.386	2.77	4.61	5.99	7.38	9.21	10.60	2
3	7.17E-02	0.115	0.216	0.352	0.584	1.213	2.37	4.11	6.25	7.81	9.35	11.34	12.84	3
4	0.207	0.297	0.484	0.711	1.064	1.923	3.36	5.39	7.78	9.49	11.14	13.28	14.86	4
5	0.412	0.554	0.831	1.145	1.610	2.67	4.35	6.63	9.24	11.07	12.83	15.09	16.75	5
6	0.676	0.872	1.237	1.635	2.20	3.45	5.35	7.84	10.64	12.59	14.45	16.81	18.55	6
7	0.989	1.239	1.690	2.17	2.83	4.25	6.35	9.04	12.02	14.07	16.01	18.48	20.3	7
8	1.344	1.647	2.18	2.73	3.49	5.07	7.34	10.22	13.36	15.51	17.53	20.1	22.0	8
9	1.735	2.09	2.70	3.33	4.17	5.90	8.34	11.39	14.68	16.92	19.02	21.7	23.6	9
10	2.16	2.56	3.25	3.94	4.87	6.74	9.34	12.55	15.99	18.31	20.5	23.2	25.2	10
11	2.60	3.05	3.82	4.57	5.58	7.58	10.34	13.70	17.28	19.68	21.9	24.7	26.8	11
12	3.07	3.57	4.40	5.23	6.30	8.44	11.34	14.85	18.55	21.0	23.3	26.2	28.3	12
13	3.57	4.11	5.01	5.89	7.04	9.30	12.34	15.98	19.81	22.4	24.7	27.7	29.8	13
14	4.07	4.66	5.63	6.57	7.79	10.17	13.34	17.12	21.1	23.7	26.1	29.1	31.3	14
15	4.60	5.23	6.26	7.26	8.55	11.04	14.34	18.25	22.3	25.0	27.5	30.6	32.8	15
16	5.14	5.81	6.91	7.96	9.31	11.91	15.34	19.37	23.5	26.3	28.8	32.0	34.3	16
17	5.70	6.41	7.56	8.67	10.09	12.79	16.34	20.5	24.8	27.6	30.2	33.4	35.7	17
18	6.26	7.01	8.23	9.39	10.86	13.68	17.34	21.6	26.0	28.9	31.5	34.8	37.2	18
19	6.84	7.63	8.91	10.12	11.65	14.56	18.34	22.7	27.2	30.1	32.9	36.2	38.6	19
20	7.43	8.26	9.59	10.85	12.44	15.45	19.34	23.8	28.4	31.4	34.2	37.6	40.0	20
21	8.03	8.90	10.28	11.59	13.24	16.34	20.3	24.9	29.6	32.7	35.5	38.9	41.4	21
22	8.64	9.54	10.98	12.34	14.04	17.24	21.3	26.0	30.8	33.9	36.8	40.3	42.8	22
23	9.26	10.20	11.69	13.09	14.85	18.14	22.3	27.1	32.0	35.2	38.1	41.6	44.2	23
24	9.89	10.86	12.40	13.85	15.66	19.04	23.3	28.2	33.2	36.4	39.4	43.0	45.6	24
25	10.52	11.52	13.12	14.61	16.47	19.94	24.3	29.3	34.4	37.7	40.6	44.3	46.9	25
26	11.16	12.20	13.84	15.38	17.29	20.8	25.3	30.4	35.6	38.9	41.9	45.6	48.3	26
27	11.81	12.88	14.57	16.15	18.11	21.7	26.3	31.5	36.7	40.1	43.2	47.0	49.6	27
28	12.46	13.56	15.31	16.93	18.94	22.7	27.3	32.6	37.9	41.3	44.5	48.3	51.0	28
29	13.12	14.26	16.05	17.71	19.77	23.6	28.3	33.7	39.1	42.6	45.7	49.6	52.3	29
30	13.79	14.95	16.79	18.49	20.6	24.5	29.3	34.8	40.3	43.8	47.0	50.9	53.7	30
40	20.7	22.2	24.4	26.5	29.1	33.7	39.3	45.6	51.8	55.8	59.3	63.7	66.8	40
50	28.0	29.7	32.4	34.8	37.7	42.9	49.3	56.3	63.2	67.5	71.4	76.2	79.5	50
60	35.5	37.5	40.5	43.2	46.5	52.3	59.3	67.0	74.4	79.1	83.3	88.4	92.0	60
70	43.3	45.4	48.8	51.7	55.3	61.7	69.3	77.6	85.5	90.5	95.0	100.4	104.2	70
80	51.2	53.5	57.2	60.4	64.3	71.1	79.3	88.1	96.6	101.9	106.6	112.3	116.3	80
90	59.2	61.8	65.6	69.1	73.3	80.6	89.3	98.6	107.6	113.1	118.1	124.1	128.3	90
100	67.3	70.1	74.2	77.9	82.4	90.1	99.3	109.1	118.5	124.3	129.6	135.8	140.2	100
Z_α	-2.58	-2.33	-1.96	-1.64	-1.28	-0.674	0.000	0.674	1.282	1.645	1.96	2.33	2.58	Z_α

Para $\phi > 100$ tómese $\chi^2 = \frac{1}{2} (Z_\alpha + \sqrt{2\phi - 1})^2$. Z_α es la desviación normal estandarizada correspondiente al nivel de significancia y se muestra en la parte superior de la tabla.

TABLA 4: DISTRIBUCIÓN F DE FISHER

Puntos de Porcentaje de la distribución F

Ejemplo:



Para $n_1 = 9$, $n_2 = 12$ grados de libertad:

$$P[F > 2.80] = 0.05$$

$$P[F > 4.39] = 0.01$$

n_2	5 % (normal) y 1 % (negritas) puntos para la distribución de F																				n_2			
	n_1 grados de libertad (para el mayor cuadrado medio)																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	16	20	24	30	40	50	75	100	200	500	

	<p>4.96</p> <p>10.04</p>	
--	---------------------------------	--

n_2	<p>5 % (normal) y 1 % (negritas) puntos para la distribución de F</p>	n_2
	<p>n_1 grados de libertad (para el mayor cuadrado medio)</p>	
	<p>1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 14 16 20 24 30 40 50 75 100 200 500</p>	

11	4.84 3.98 3.59 3.36 3.20 3.09 3.01 2.95 2.90 2.85 2.82 2.79 2.74 2.70 2.65 2.61 2.57 2.53 2.51 2.47 2.46 2.43 2.42 2.40	11
	9.65 7.21 6.22 5.67 5.32 5.07 4.89 4.74 4.63 4.54 4.46 4.40 4.29 4.21 4.10 4.02 3.94 3.86 3.81 3.74 3.71 3.66 3.62 3.60	
12	4.75 3.89 3.49 3.26 3.11 3.00 2.91 2.85 2.80 2.75 2.72 2.69 2.64 2.60 2.54 2.51 2.47 2.43 2.40 2.37 2.35 2.32 2.31 2.30	12
	9.33 6.93 5.95 5.41 5.06 4.82 4.64 4.50 4.39 4.30 4.22 4.16 4.05 3.97 3.86 3.78 3.70 3.62 3.57 3.50 3.47 3.41 3.38 3.36	
13	4.67 3.81 3.41 3.18 3.03 2.92 2.83 2.77 2.71 2.67 2.63 2.60 2.55 2.51 2.46 2.42 2.38 2.34 2.31 2.28 2.26 2.23 2.22 2.21	13
	9.07 6.70 5.74 5.21 4.86 4.62 4.44 4.30 4.19 4.10 4.02 3.96 3.86 3.78 3.66 3.59 3.51 3.43 3.38 3.31 3.27 3.22 3.19 3.17	
14	4.60 3.74 3.34 3.11 2.96 2.85 2.76 2.70 2.65 2.60 2.57 2.53 2.48 2.44 2.39 2.35 2.31 2.27 2.24 2.21 2.19 2.16 2.14 2.13	14
	8.86 6.51 5.56 5.04 4.69 4.46 4.28 4.14 4.03 3.94 3.86 3.80 3.70 3.62 3.51 3.43 3.35 3.27 3.22 3.15 3.11 3.06 3.03 3.00	
15	4.54 3.68 3.29 3.06 2.90 2.79 2.71 2.64 2.59 2.54 2.51 2.48 2.42 2.38 2.33 2.29 2.25 2.20 2.18 2.14 2.12 2.10 2.08 2.07	15
	8.68 6.36 5.42 4.89 4.56 4.32 4.14 4.00 3.89 3.80 3.73 3.67 3.56 3.49 3.37 3.29 3.21 3.13 3.08 3.01 2.98 2.92 2.89 2.87	
16	4.49 3.63 3.24 3.01 2.85 2.74 2.66 2.59 2.54 2.49 2.46 2.42 2.37 2.33 2.28 2.24 2.19 2.15 2.12 2.09 2.07 2.04 2.02 2.01	16
	8.53 6.23 5.29 4.77 4.44 4.20 4.03 3.89 3.78 3.69 3.62 3.55 3.45 3.37 3.26 3.18 3.10 3.02 2.97 2.90 2.86 2.81 2.78 2.75	
17	4.45 3.59 3.20 2.96 2.81 2.70 2.61 2.55 2.49 2.45 2.41 2.38 2.33 2.29 2.23 2.19 2.15 2.10 2.08 2.04 2.02 1.99 1.97 1.96	17
	8.40 6.11 5.19 4.67 4.34 4.10 3.93 3.79 3.68 3.59 3.52 3.46 3.35 3.27 3.16 3.08 3.00 2.92 2.87 2.80 2.76 2.71 2.68 2.65	
18	4.41 3.55 3.16 2.93 2.77 2.66 2.58 2.51 2.46 2.41 2.37 2.34 2.29 2.25 2.19 2.15 2.11 2.06 2.04 2.00 1.98 1.95 1.93 1.92	18
	8.29 6.01 5.09 4.58 4.25 4.01 3.84 3.71 3.60 3.51 3.43 3.37 3.27 3.19 3.08 3.00 2.92 2.84 2.78 2.71 2.68 2.62 2.59 2.57	
19	4.38 3.52 3.13 2.90 2.74 2.63 2.54 2.48 2.42 2.38 2.34 2.31 2.26 2.21 2.16 2.11 2.07 2.03 2.00 1.96 1.94 1.91 1.89 1.88	19
	8.18 5.93 5.01 4.50 4.17 3.94 3.77 3.63 3.52 3.43 3.36 3.30 3.19 3.12 3.00 2.92 2.84 2.76 2.71 2.64 2.60 2.55 2.51 2.49	
20	4.35 3.49 3.10 2.87 2.71 2.60 2.51 2.45 2.39 2.35 2.31 2.28 2.22 2.18 2.12 2.08 2.04 1.99 1.97 1.93 1.91 1.88 1.86 1.84	20
	8.10 5.85 4.94 4.43 4.10 3.87 3.70 3.56 3.46 3.37 3.29 3.23 3.13 3.05 2.94 2.86 2.78 2.69 2.64 2.57 2.54 2.48 2.44 2.42	
21	4.32 3.47 3.07 2.84 2.68 2.57 2.49 2.42 2.37 2.32 2.28 2.25 2.20 2.16 2.10 2.05 2.01 1.96 1.94 1.90 1.88 1.84 1.83 1.81	21
	8.02 5.78 4.87 4.37 4.04 3.81 3.64 3.51 3.40 3.31 3.24 3.17 3.07 2.99 2.88 2.80 2.72 2.64 2.58 2.51 2.48 2.42 2.38 2.36	
22	4.30 3.44 3.05 2.82 2.66 2.55 2.46 2.40 2.34 2.30 2.26 2.23 2.17 2.13 2.07 2.03 1.98 1.94 1.91 1.87 1.85 1.82 1.80 1.78	22
	7.95 5.72 4.82 4.31 3.99 3.76 3.59 3.45 3.35 3.26 3.18 3.12 2.94 2.58 2.53 2.46 2.42 2.36 2.33 2.31	
23	4.28 3.42 3.03 2.80 2.64 2.53 2.44 2.37 2.32 2.27 2.24 2.20 3.02 2.11 2.83 2.75 2.67 1.91 1.88 1.84 1.82 1.79 1.77 1.76	23
	7.88 5.66 4.76 4.26 3.94 3.71 3.54 3.41 3.30 3.21 3.14 3.07 2.15 2.89 2.05 2.01 1.96 2.54 2.48 2.41 2.37 2.32 2.28 2.26	
24	4.26 3.40 3.01 2.78 2.62 2.51 2.42 2.36 2.30 2.25 2.22 2.18 2.97 2.09 2.78 2.70 2.62 1.89 1.86 1.82 1.80 1.77 1.75 1.73	24
	7.82 5.61 4.72 4.22 3.90 3.67 3.50 3.36 3.26 3.17 3.09 3.03 2.13 2.85 2.03 1.98 1.94 2.49 2.44 2.37 2.33 2.27 2.24 2.21	
25	4.24 3.39 2.99 2.76 2.60 2.49 2.40 2.34 2.28 2.24 2.20 2.16 2.93 2.07 2.74 2.66 2.58 1.87 1.84 1.80 1.78 1.75 1.73 1.71	25
	7.77 5.57 4.68 4.18 3.85 3.63 3.46 3.32 3.22 3.13 3.06 2.99 2.11 2.81 2.01 1.96 1.92 2.45 2.40 2.33 2.29 2.23 2.19 2.17	
26		26
27		27

34	4.13 3.28 2.88 2.65 2.49 2.38 2.29 2.23 2.17 2.12 2.08 2.05 1.99 1.95 1.89 1.84 1.80 1.75 1.71 1.67 1.65 1.61 1.59 1.57	34
	7.44 5.29 4.42 3.93 3.61 3.39 3.22 3.09 2.98 2.89 2.82 2.76 2.66 2.58 2.46 2.38 2.30 2.21 2.16 2.08 2.04 1.98 1.94 1.91	
36	4.11 3.26 2.87 2.63 2.48 2.36 2.28 2.21 2.15 2.11 2.07 2.03 1.98 1.93 1.87 1.82 1.78 1.73 1.69 1.65 1.62 1.59 1.56 1.55	36
	7.40 5.25 4.38 3.89 3.57 3.35 3.18 3.05 2.95 2.86 2.79 2.72 2.62 2.54 2.43 2.35 2.26 2.18 2.12 2.04 2.00 1.94 1.90 1.87	
38	4.10 3.24 2.85 2.62 2.46 2.35 2.26 2.19 2.14 2.09 2.05 2.02 1.96 1.92 1.85 1.81 1.76 1.71 1.68 1.63 1.61 1.57 1.54 1.53	38
	7.35 5.21 4.34 3.86 3.54 3.32 3.15 3.02 2.92 2.83 2.75 2.69 2.59 2.51 2.40 2.32 2.23 2.14 2.09 2.01 1.97 1.90 1.86 1.84	
40	4.08 3.23 2.84 2.61 2.45 2.34 2.25 2.18 2.12 2.08 2.04 2.00 1.95 1.90 1.84 1.79 1.74 1.69 1.66 1.61 1.59 1.55 1.53 1.51	40
	7.31 5.18 4.31 3.83 3.51 3.29 3.12 2.99 2.89 2.80 2.73 2.66 2.56 2.48 2.37 2.29 2.20 2.11 2.06 1.98 1.94 1.87 1.83 1.81	
42	4.07 3.22 2.83 2.59 2.44 2.32 2.24 2.17 2.11 2.06 2.03 1.99 1.94 1.89 1.83 1.78 1.73 1.68 1.65 1.60 1.57 1.53 1.51 1.49	42
	7.28 5.15 4.29 3.80 3.49 3.27 3.10 2.97 2.86 2.78 2.70 2.64 2.54 2.46 2.34 2.26 2.18 2.09 2.03 1.95 1.91 1.85 1.80 1.78	
44	4.06 3.21 2.82 2.58 2.43 2.31 2.23 2.16 2.10 2.05 2.01 1.98 1.92 1.88 1.81 1.77 1.72 1.67 1.63 1.59 1.56 1.52 1.49 1.48	44
	7.25 5.12 4.26 3.78 3.47 3.24 3.08 2.95 2.84 2.75 2.68 2.62 2.52 2.44 2.32 2.24 2.15 2.07 2.01 1.93 1.89 1.82 1.78 1.75	
46	4.05 3.20 2.81 2.57 2.42 2.30 2.22 2.15 2.09 2.04 2.00 1.97 1.91 1.87 1.80 1.76 1.71 1.65 1.62 1.57 1.55 1.51 1.48 1.46	46
	7.22 5.10 4.24 3.76 3.44 3.22 3.06 2.93 2.82 2.73 2.66 2.60 2.50 2.42 2.30 2.22 2.13 2.04 1.99 1.91 1.86 1.80 1.76 1.73	
48	4.04 3.19 2.80 2.57 2.41 2.29 2.21 2.14 2.08 2.03 1.99 1.96 1.90 1.86 1.79 1.75 1.70 1.64 1.61 1.56 1.54 1.49 1.47 1.45	48
	7.19 5.08 4.22 3.74 3.43 3.20 3.04 2.91 2.80 2.71 2.64 2.58 2.48 2.40 2.28 2.20 2.12 2.02 1.97 1.89 1.84 1.78 1.73 1.70	
50	4.03 3.18 2.79 2.56 2.40 2.29 2.20 2.13 2.07 2.03 1.99 1.95 1.89 1.85 1.78 1.74 1.69 1.63 1.60 1.55 1.52 1.48 1.46 1.44	50
	7.17 5.06 4.20 3.72 3.41 3.19 3.02 2.89 2.78 2.70 2.63 2.56 2.46 2.38 2.27 2.18 2.10 2.01 1.95 1.87 1.82 1.76 1.71 1.68	
55	4.02 3.16 2.77 2.54 2.38 2.27 2.18 2.11 2.06 2.01 1.97 1.93 1.88 1.83 1.76 1.72 1.67 1.61 1.58 1.53 1.50 1.46 1.43 1.41	55
	7.12 5.01 4.16 3.68 3.37 3.15 2.98 2.85 2.75 2.66 2.59 2.53 2.42 2.34 2.23 2.15 2.06 1.97 1.91 1.83 1.78 1.71 1.67 1.64	
60	4.00 3.15 2.76 2.53 2.37 2.25 2.17 2.10 2.04 1.99 1.95 1.92 1.86 1.82 1.75 1.70 1.65 1.59 1.56 1.51 1.48 1.44 1.41 1.39	60
	7.08 4.98 4.13 3.65 3.34 3.12 2.95 2.82 2.72 2.63 2.56 2.50 2.39 2.31 2.20 2.12 2.03 1.94 1.88 1.79 1.75 1.68 1.63 1.60	
65	3.99 3.14 2.75 2.51 2.36 2.24 2.15 2.08 2.03 1.98 1.94 1.90 1.85 1.80 1.73 1.69 1.63 1.58 1.54 1.49 1.46 1.42 1.39 1.37	65
	7.04 4.95 4.10 3.62 3.31 3.09 2.93 2.80 2.69 2.53 2.47 2.17 1.91 1.85 1.77 1.72 1.65 1.60 1.57	
70	3.98 3.13 2.74 2.50 2.35 2.23 2.14 2.07 2.02 1.97 1.93 1.89 1.84 1.79 1.72 1.67 1.62 1.57 1.53 1.48 1.45 1.40 1.37 1.35	70
	7.01 4.92 4.07 3.60 3.29 3.07 2.91 2.78 2.67 1.97 2.51 2.45 1.84 1.79 2.15 1.67 1.62 1.89 1.83 1.74 1.70 1.62 1.57 1.54	
80	3.96 3.11 2.72 2.49 2.33 2.21 2.13 2.06 2.00 1.95 1.91 1.88 1.82 1.77 1.70 1.65 1.60 1.54 1.51 1.45 1.43 1.38 1.35 1.33	80
	6.96 4.88 4.04 3.56 3.26 3.04 2.87 2.74 2.64 1.95 2.48 2.42 1.82 1.77 2.12 1.65 1.60 1.85 1.79 1.70 1.65 1.58 1.53 1.50	
100	3.94 3.09 2.70 2.46 2.31 2.19 2.10 2.03 1.97 1.93 1.89 1.85 1.81 1.77 1.70 1.65 1.60 1.52 1.48 1.42 1.39 1.34 1.31 1.28	100
	2.55 1.93 1.89 1.85 2.31 2.23 1.68 2.03 1.94 1.52 1.48 1.42 1.39 1.34 1.31 1.28	
125		125
	1.93 1.79 1.75 1.63 1.57	
150		150

200	6.90 4.82 3.98 3.51 3.21 2.99 2.82 2.69 2.59 2.50 2.43 2.37 2.27 2.19 2.07 1.98 1.89 1.80 1.74 1.65 1.60 1.52 1.47 1.43	200
	3.92 3.07 2.68 2.44 2.29 2.17 2.08 2.01 1.96 1.91 1.87 1.83 1.77 1.73 1.66 1.60 1.55 1.49 1.45 1.40 1.36 1.31 1.27 1.25	
400	6.84 4.78 3.94 3.47 3.17 2.95 2.79 2.66 2.55 2.47 2.39 2.33 2.23 2.15 2.03 1.94 1.85 1.76 1.69 1.60 1.55 1.47 1.41 1.37	400
	3.90 3.06 2.66 2.43 2.27 2.16 2.07 2.00 1.94 1.89 1.85 1.82 1.76 1.71 1.64 1.59 1.54 1.48 1.44 1.38 1.34 1.29 1.25 1.22	
1000	6.81 4.75 3.91 3.45 3.14 2.92 2.76 2.63 2.53 2.44 2.37 2.31 2.20 2.12 2.00 1.92 1.83 1.73 1.66 1.57 1.52 1.43 1.38 1.33	1000
	3.89 3.04 2.65 2.42 2.26 2.14 2.06 1.98 1.93 1.88 1.84 1.80 1.74 1.69 1.62 1.57 1.52 1.46 1.41 1.35 1.32 1.26 1.22 1.19	
	6.76 4.71 3.88 3.41 3.11 2.89 2.73 2.60 2.50 2.41 2.34 2.27 2.17 2.09 1.97 1.89 1.79 1.69 1.63 1.53 1.48 1.39 1.33 1.28	
	3.86 3.02 2.63 2.39 2.24 2.12 2.03 1.96 1.90 1.85 1.81 1.78 1.72 1.67 1.60 1.54 1.49 1.42 1.38 1.32 1.28 1.22 1.17 1.13	
	6.70 4.66 3.83 3.37 3.06 2.85 2.68 2.56 2.45 2.37 2.29 2.23 2.13 2.05 1.92 1.84 1.75 1.64 1.58 1.48 1.42 1.32 1.25 1.19	
	3.85 3.00 2.61 2.38 2.22 2.11 2.02 1.95 1.89 1.84 1.80 1.76 1.70 1.65 1.58 1.53 1.47 1.41 1.36 1.30 1.26 1.19 1.13 1.08	
	6.66 4.63 3.80 3.34 3.04 2.82 2.66 2.53 2.43 2.34 2.27 2.20 2.10 2.02 1.90 1.81 1.72 1.61 1.54 1.44 1.38 1.28 1.19 1.12	
	3.84 3.00 2.60 2.37 2.21 2.10 2.01 1.94 1.88 1.83 1.79 1.75 1.69 1.64 1.57 1.52 1.46 1.39 1.35 1.28 1.24 1.17 1.11 1.00	
	6.63 4.61 3.78 3.32 3.02 2.80 2.64 2.51 2.41 2.32 2.25 2.18 2.08 2.00 1.88 1.79 1.70 1.59 1.52 1.42 1.36 1.25 1.15 1.00	

ANEXO E: Cálculos mediante Weibull y Distribución Normal

Actividad	tasa de fallo	costo repuestos	costos materiales	costo hora hombre	tiempo preventivo	MCU	Capacidad de producción	Tiempo de indisponibilidad	tiempo R(t)
Calibración de inyectores	3,32	0	3	80	120	0,08	0,146	216	654
Ajuste de espárragos principales	3,18	0	3	40	48	0,08	0,146	144	623
Calibración de válvulas	3,92	0	3	60	48	0,08	0,146	144	538
Inspección de calzos anti vibratorios	1,88	0	3	40	48	0,08	0,146	144	523
Inspección de levas	3,92	0	3	60	48	0,08	0,146	144	543
Limpieza de filtros rascadores	3,36	0	3	40	120	0,08	0,146	216	941
Reacondicionamiento de las bombas de inyección	4,17	600	6	80	144	0,08	0,146	240	748
Reacondicionamiento de la bomba de aceite	4,12	320	2	80	144	0,08	0,146	240	987
Reacondicionamiento de las bombas de agua	4,45	200	2	80	144	0,08	0,146	240	1098
Reacondicionamiento de culatas	1,55	340	12	80	144	0,08	0,146	240	1064
Reacondicionamiento de camisas	3,18	150	25	80	144	0,08	0,146	240	949
Reacondicionamiento de pistones	3,92	350	3	80	144	0,08	0,146	240	786
Reemplazo de cojinetes	3,88	1200	2	60	120	0,08	0,146	216	863
Cambio de filtros de aceite	3,55	60	50	40	120	0,08	0,146	216	685
Reemplazo de los termostatos de aceite	3,16	125	25	60	120	0,08	0,146	216	835
Reemplazo de los termostatos de agua	3,23	125	30	80	120	0,08	0,146	216	856
Inspección del regulador de velocidad	3,56	50	2	40	48	0,08	0,146	144	543