



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS DE LA
INGENIERÍA Y APLICADAS**



**CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE
POTENCIA**

**UNIVERSIDAD DE GRANMA
FACULTAD DE CIENCIAS TÉCNICAS
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS TÉCNICAS**

Trabajo de Diploma

En opción al título de Ingeniero Eléctrico en Sistemas Eléctricos de Potencia

TITULO:

**Valoración de la confiabilidad operacional en Grupos Electrónicos
HYUNDAI de 1,7 MW en la Central Eléctrica de Generación Distribuida
de Bayamo, en la provincia de Granma**

**Autores: Angel David Bustillos Casa.
Carlos Iván Quinatoa Caiza.**

**Tutores: Rubén Jerez Pereira, Dr.C.
Yans Guardia Puebla, Dr.C.**

**Bayamo, M.N. Junio de 2013
“Año 55 de la Revolución”**

Latacunga – Ecuador

CERTIFICACIÓN DIRECTOR DE TESIS

Cumpliendo con lo estipulado en el Artículo 26, Literal h) del Reglamento de graduación en el Nivel de Pregrado de la Universidad Técnica de Cotopaxi, **CERTIFICO**, que los señores Angel David Bustilos Casa y Carlos Iván Quinatoa Caiza, alumnos de la Carrera de Ingeniería Eléctrica en Sistemas Eléctricos de Potencia CIYA, desarrollaron el trabajo de investigación de grado, de acuerdo a los planteamientos formulados en el Proyecto de Tesis, asesoría y dirección correspondiente.

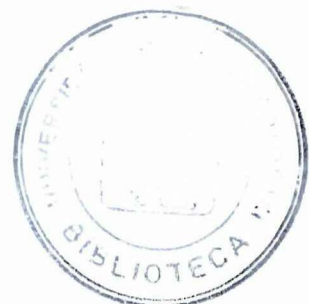
En virtud de lo antes expuesto considero que está habilitado para presentarse al acto de defensa de tesis, cuyo tema es: “Valoración de la confiabilidad operacional en Grupos Electrónicos HYUNDAI de 1,7 MW en la Central Eléctrica de Generación Distribuida de Bayamo, en la provincia de Granma”.

Atentamente,

Yans Guardia Puebla, Dr.C.
DIRECTOR DE TESIS



Rubén Jerez Pereira, Dr.C.
DIRECTOR DE TESIS



UNIVERSIDAD DE GRANMA
ACTA DE DEFENSA DE TRABAJO DE DIPLOMA

Nombre (s) y apellidos del estudiante: Angel David Bustillos Casa

De acuerdo con la Resolución Ministerial 210 / 07 del Ministro de Educación Superior y la convocatoria librada por el Decano, se constituye el tribunal integrado por:

Presidente: M.Sc. Raúl Felipe Pacheco Gamboa.

Secretario: Ing. Joao Barzaga Quesada.

Vocal: M.Sc. Yoan Manuel Ramos Botello.

Fungiendo como Tutor: Dr.c. Rubén Jerez Pereira.
Dr.c. Yans Guardia Puebla.

y como Oponente: Ing. Lázaro Ventura Benitez Leyva.

para evaluar en este acto público el Trabajo de Diploma que tiene por título:

Valoración de la confiabilidad operacional en Grupos electrógenos
HYUNDAI de 1,7 MW en la Central Eléctrica de
Generación Distribuida de Bayamo, en la provincia de Granma

Una vez escuchadas la exposición del estudiante, del Tutor, del Oponente y las preguntas planteadas, el tribunal emite la calificación de 5 puntos y formula las siguientes conclusiones y recomendaciones:

Y para que así conste en el expediente académico del mencionado estudiante, se expide y firma la presente Acta a los 18 días del mes de JUNIO año 2013

[Signature]
Presidente



[Signature]
Secretario



[Signature]
Vocal

Ejemplar único para archivar en el expediente académico del estudiante.

**UNIVERSIDAD DE GRANMA
ACTA DE DEFENSA DE TRABAJO DE DIPLOMA**

Nombre (s) y apellidos del estudiante: Carlos Iván Quinatoa Caiza.

De acuerdo con la Resolución Ministerial 210 / 07 del Ministro de Educación Superior y la convocatoria librada por el Decano, se constituye el tribunal integrado por:

Presidente: MSc. Raúl Felipe Pacheco Gamboa.

Secretario: Ing. Joao Bárzaga Quesada.

Vocal: MSc. Yoan Manuel Ramos Botello.

Fungiendo como Tutor: Dr. c. Rubén Jerez Pereira.
Dr. c. Yans Guardia Puebla.

y como Oponente: Ing. Lázaro Ventura Benitez Leyva.

para evaluar en este acto público el Trabajo de Diploma que tiene por título:

Valoración de la confiabilidad operacional en grupos electrizados
HYUNDAI de 1,7 MW en la Central Eléctrica de Generación
Distribuida de Bayamo, en la provincia de Granma.

Una vez escuchadas la exposición del estudiante, del Tutor, del Oponente y las preguntas planteadas, el tribunal emite la calificación de 5 puntos y formula las siguientes conclusiones y recomendaciones:

Y para que así conste en el expediente académico del mencionado estudiante, se expide y firma la presente Acta a los 18 días del mes de Junio año 2013

[Firma]
Presidente



[Firma]
Secretario



[Firma]
Vocal

Ejemplar único para archivar en el expediente académico del estudiante



**UNIVERSIDAD DE GRANMA
FACULTAD DE CIENCIAS TÉCNICAS
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**



OPINIÓN DE LOS TUTORES

DATOS DE LOS TUTORES:

Nombres y apellidos:

Dr.C. Rubén Jerez Pereira (Prof. Titular Disciplina Mantenimiento).

Dr.C. Yans Guardia Puebla (Prof. Asistente Disciplina Tecnología Energética)

DATOS SOBRE EL TRABAJO DE DIPLOMA

**Título: Valoración de la confiabilidad operacional en Grupos Electrónicos
HYUNDAI de 1,7 MW en la Central Eléctrica de Generación
Distribuida de Bayamo, en la provincia de Granma.**

Estudiantes: Angel David Bustillos Casa.

Carlos Iván Quinatoa Caiza.

Actualidad

El trabajo responde a una temática de actualidad dentro de las líneas de investigación en el campo de la producción de energía, de tanta demanda en el actual contexto internacional, la cual esta dirigida a lograr la utilización eficiente de los principales portadores energéticos, así como, la implementación y desarrollo de nuevas alternativas como es la generación distribuida a partir de Grupos Electrónicos.

En este sentido, no solo se busca obtener energía eléctrica de manera descentralizada y suplir los picos de demanda en el momento requerido, sino hacerlo de forma que se alcance la necesaria eficiencia en lo relativo a confiabilidad operacional de los Grupos Electrónicos, elevando con ello la

seguridad en el funcionamiento de los mismos, y disminuyendo a valores razonables los costos de explotación.

La valoración de la confiabilidad operacional, mediante el cálculo de los índices de clase mundial, se convierte hoy día en una herramienta de incalculable valor práctico para todas las empresas.

Correspondencia del contenido del trabajo con la tarea planteada

El contenido del cuerpo del trabajo guarda estrecha relación con la tarea planteada. Como bien enuncia el título, la tesis hace una primera valoración, creo que de manera muy coherente, sobre la confiabilidad operacional de los Grupos electrógenos, especialmente con énfasis en los motores HYUDAY de 1,7 MW de potencia, aportando, preliminarmente una valiosa información del ¿dónde? y el ¿cómo? localizar y evaluar las posibles causas de las fallas y, en correspondencia con ello, trazar las estrategias de mantenimiento para el logro de una sostenida confiabilidad.

Criterios de forma

Los contenidos que se describen en el cuerpo teórico de la tesis guardan una relación con el tema, tanto en el plano general como en el específico.

El método científico empleado es adecuado, y para su desarrollo se han tenido en cuenta las normas de redacción de las tesis de diploma, así como las normas ramales de la Unión Nacional Eléctrica. En el trabajo se han empleado métodos de análisis, síntesis, deducción e inducción, y procedimientos de cálculo. Se han utilizado de manera muy acertada las aplicaciones informáticas.

El estilo de redacción es adecuado. La bibliografía es actualizada. Se hace un análisis crítico de las fuentes consultadas. La información que se brinda resulta de utilidad para sustentar teóricamente el tema.

En la revisión bibliográfica de la tesis, se brinda una información de alto valor técnico y de actualidad y contribuye a sustentar teóricamente el análisis de los resultados presentados.

Los estudiantes han mostrado independencia investigativa, buen nivel de decisión y creatividad para resolver los problemas.

No existe obra humana perfecta, y esta tesis de diploma que se presenta hoy, no será la excepción de la regla. En el trabajo se aprecian mínimos errores de redacción, en determinados párrafos el estilo de pudo ser mejorado. La información procesada pudo tener un análisis mucho más profundo del realizado aquí, pero el tiempo es implacable, y lo más importante es que el tema objeto de estudio posee continuidad y, sin lugar a dudas, es perfectible.

Por todo lo anteriormente expresado solicito al tribunal, acepte el trabajo presentado como ejercicio de culminación de estudios y lo considere válido para optar por el título de Ingeniero Eléctrico en Sistemas Eléctricos de Potencia a favor de los estudiantes Angel David Bustillos Casa y Carlos Iván Quinatoa Caiza.

Dado en la Universidad de Granma, a los 18 días del mes de junio de 2013, “Año 55 de la Revolución”

Tutores,



Dr.C. Rubén Jerez Pereira.



Dr.C. Yans Guardia Puebla.





**Universidad de Granma
Facultad de Ciencias Técnicas
Departamento de Ciencias Técnicas**



OPINIÓN CRÍTICA DEL Oponente

TÍTULO DEL TRABAJO DE DIPLOMA: Valoración de la confiabilidad en Grupos Electrógenos HYUNDAI 1,7 MW en la Central Eléctrica de Generación Distribuida de Bayamo, en la provincia Granma.

AUTORES: Angel David Bustillos Casa.

Carlos Iván Quinatoa Caiza.

TUTORES: Ing. Rubén Jerez Pereira, Dr. C., Prof. Titular

Ing. Yans Guardia Puebla, Dr. C., Prof. Asistente

• **Actualidad e importancia del tema**

La investigación desarrollada por los autores reviste una importancia para la Central Eléctrica de Generación Distribuida de provincia Granma debido a la necesidad de determinar la confiabilidad operacional de este importante emplazamiento. Esto es necesario para disminuir los costos de mantenimiento y, de este modo, alargar el tiempo de vida útil de estos equipos. Es innegable su actualidad debido a que se estudian los principales indicadores de clase mundial para poder gestionar adecuadamente el mantenimiento, y esto está respaldado por la bibliografía revisada.

• **Características de la investigación y valor de los resultados**

La investigación parte de los antecedentes, la apreciación y la coherente descripción de elementos conocidos de un sistema de mantenimiento, a la valoración de los indicadores por el método científico. Sus resultados son conmensurables en su capítulo III en el que se establecieron los parámetros técnicos adecuados para el sistema realizando un análisis estadístico coherente con la hipótesis planteada

Utilización y pertinencia de la bibliografía

Hay un uso adecuado de la bibliografía para este tipo de investigación, la cual es congruentemente referenciada en el cuerpo del trabajo y demás está

suficientemente actualizada, destacando el ordenamiento acorde con las normas pertinentes.

• **Estructura y presentación**

Existe relación entre el título y el contenido. Está estructurado según la metodología establecidas por el Departamento de Ciencias Técnicas de la Universidad de Granma de la manera siguiente: Portada, Resumen, Índice, Introducción, Capítulo I: Antecedentes y estado actual del tema; el Capítulo II: Materiales y métodos empleados; Capítulo III: Presentación y análisis de los resultados, conclusiones, recomendaciones y bibliografía, con un total de 59 páginas de contenido. El trabajo tiene una buena calidad de presentación, las figuras y tablas presentan una buena calidad y son correctamente explicados. Asimismo, existe un uso racional del espacio durante toda la tesis.

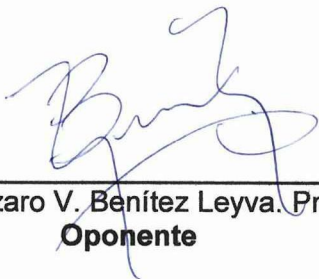
• **Señalamientos**

- ✓ En la 4ta conclusión dice “Grupo Electrónico” en lugar de “Grupo Electrógeno”.
- ✓ No se especifica qué es CUP y CUC, referente a las dos monedas cubanas.

• **Conclusiones**

De este modo se dictamina el valor que posee el trabajo, su importancia económica y técnica. Por lo que ninguno de los señalamientos aquí realizados son trascendentales como para invalidar la investigación. Asimismo, se propone a este tribunal que sesiona, que acepte este Trabajo de Diploma válido para la culminación de estudios y que le sea posible a los diplomantes optar por el título de **Ingeniero Eléctrico en Sistemas Eléctricos de Potencia**.

Bayamo M.N., 18 de junio de 2013



Ing. Lázaro V. Benítez Leyva. Prof. Asistente.
Oponente





UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
UNIVERSIDAD DE GRANMA – REPUBLICA DE CUBA



INFORME DE ACTIVIDADES QUINCENALES AL DESARROLLO DEL TEMA DE INVESTIGACIÓN

AUTORES: Ángel David Bustillos Casa.
Carlos Iván Quinatoa Caiza.

TUTORES: Rubén Jerez Pereira, Dr.C.
Yans Guardia Puebla, Dr.C.

ESPECIALIDAD: INGENIERÍA ELÉCTRICA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE
POTENCIA

TEMA:

Valoración de indicadores de confiabilidad operacional en Grupos Electrónicos HYUNDAI de 1,7 MW en la Subestación Eléctrica de Generación Distribuida de Bayamo, en la provincia de Granma.

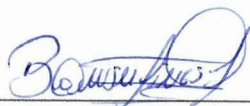
FECHA: Del 18 de Marzo al 30 de Abril del 2013.

Mediante la presente nos permitimos expresarle un afectuoso y cordial saludo desde la Universidad de Granma, y dales a conocer nuestro trabajo quincenal desde la llegada a la República de Cuba, así como los avances realizados en este periodo en el desarrollo de la investigación.

Informamos las actividades que se han cumplido hasta la fecha anteriormente indicada, es importante mencionar que estamos cumpliendo a cabalidad con el cronograma de trabajo establecida para los estudiantes por la universidad de Granma.

CUADRO DE ACTIVIDADES QUINCENALES DEL TEMA DE INVESTIGACIÓN

FECHA	ACTIVIDAD
18-03-2013	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Primer encuentro con los encargados de relaciones exteriores de la Universidad de Granma. ➤ Dar a conocer las indicaciones generales de la estadía en la Republica de Cuba.
19-03-2013 23-03-2013	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Semana de ambientación
24-03-2013	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Primer encuentro con los posibles tutores para desarrollar la tesis y pasantías.
26-03-2013	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Reunión en la Universidad de Granma de los estudiantes con el director de carrera de Mecánica en donde nos dan la bienvenida y se dan a conocer los temas de investigación de cada uno de los estudiantes.
27-03-2013 31-03-2013	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Esperando designación de tutores por parte de las autoridades correspondiente a la facultad de ciencias técnicas.



Ángel David Bustillos Casa.
ESTUDIANTE




Carlos Iván Quinatoa Caiza.
ESTUDIANTE



Dr.C. Rubén Jerez Pereira
TUTOR



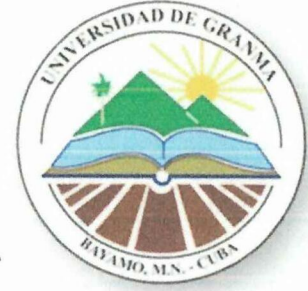

Dr.C. Yans Guardia Puebla
TUTOR



Dr.C. Sergio Rodríguez Rodríguez
DIRECTOR DE RELACIONES INTERNACIONALES



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
UNIVERSIDAD DE GRANMA – REPUBLICA DE CUBA



AUTORES: Ángel David Bustillos Casa.
Carlos Iván Quinatoa Caiza.

TUTORES: Rubén Jerez Pereira, Dr.C.
Yans Guardia Puebla, Dr.C.

ESPECIALIDAD: INGENIERÍA ELÉCTRICA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA

Mediante la presente nos permitimos expresarle un afectuoso y cordial saludo desde la Universidad de Granma, y dales a conocer el motivo por el cual se cambió el tema de tesis.

TEMA APROBADO EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI:

- *“Estudio de cortocircuito para coordinación de protecciones de subestaciones eléctricas”.*

TEMA APROBADO EN LA UNIVERSIDAD DE GRANMA FACULTAD DE CIENCIAS TÉCNICAS:

- *“Valoración de indicadores de confiabilidad operacional en Grupos Electrógénos HYUNDAI de 1,7 MW en la Subestación Eléctrica de Generación Distribuida de Bayamo, en la provincia de Granma.”*

JUSTIFICACIÓN DE TEMA

En la República de Cuba y en el mundo en general la tendencia en la producción de electricidad ha sido la desconcentración de la misma debido a los peligros inminentes que ello representante los fenómenos naturales y hasta las guerras, en donde es de vital importancia optar por la generación distribuida ya que esta trae ventajas y beneficios para todos. En Granma- República de Cuba existen grupos electrógenos de fuel Oil que cuenta con 16 motores de 1.7 MW, donde realizan controles diario de fallas donde se observó la importancia de tener una buena confiabilidad para el beneficio de la población de Granma.

Por ello la Generación Distribuida pasa a ser en los momentos actuales una de las premisas fundamentales en nuestro país para garantizar el servicio eléctrico con eficiencia y seguridad, sobre todo si se tienen en cuenta los Programas de la Batalla de Ideas que desarrolla la Revolución en aras de mejorar en sentido general el nivel de vida de nuestra población.

FECHA: Del 01 de Abril del 2013.



Ángel David Bustillos Casa.
ESTUDIANTE



Carlos Iván Quinatoa Caiza.
ESTUDIANTE



Dr.C. Rubén Jerez Pereira
TUTOR



Dr.C. Yans Guardia Puebla
TUTOR



Dr.C. Sergio Rodríguez Rodríguez
DIRECTOR DE RELACIONES INTERNACIONALES





UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
UNIVERSIDAD DE GRANMA – REPUBLICA DE CUBA



INFORME DE ACTIVIDADES QUINCENALES AL DESARROLLO DEL TEMA
DE INVESTIGACIÓN

AUTORES: Ángel David Bustillos Casa.
Carlos Iván Quinatoa Caiza.

TUTORES: Rubén Jerez Pereira, Dr.C.
Yans Guardia Puebla, Dr.C.

ESPECIALIDAD: INGENIERÍA ELÉCTRICA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE
POTENCIA

TEMA:

Valoración de indicadores de confiabilidad operacional en Grupos Electrónicos HYUNDAI de 1,7 MW en la Subestación Eléctrica de Generación Distribuida de Bayamo, en la provincia de Granma.

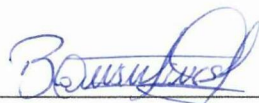
FECHA: Del 01 de Abril al 15 de Abril del 2013.

Mediante la presente nos permitimos expresarle un afectuoso y cordial saludo desde la Universidad de Granma, y dales a conocer nuestro trabajo quincenal desde la llegada a la República de Cuba, así como los avances realizados en este periodo en el desarrollo de la investigación.

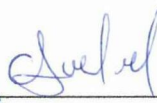
Informamos las actividades que se han cumplido hasta la fecha anteriormente indicada, es importante mencionar que estamos cumpliendo a cabalidad con el cronograma de trabajo establecida para los estudiantes por la universidad de Granma.

CUADRO DE ACTIVIDADES QUINCENALES DEL TEMA DE INVESTIGACIÓN

FECHA	ACTIVIDAD
01-04-2013	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Designación de tutores. ➤ Indicaciones generales por parte de los tutores. ➤ Planteamiento y modificación del tema de tesis a realizarse por parte de los tutores.
01-04-2013	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Cambio de tema por razones tecnológicas, por tal motivo se buscó el tema que esté acorde a realizarse por parte de los tutores.
02-04-2013 07-04-2013	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Recopilación de información, bibliográficas, libros, páginas web, etc. Relacionados con el nuevo tema.
08-04-2013	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Reunión por parte de los tutores para dar a conocer las normas y estructuras utilizadas en la Universidad de Granma Facultad de Ciencias Técnicas para la realización de la tesis.
09-04-2013 15-04-2013	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Se realizó: <p style="margin-left: 20px;"> Tema. Antecedentes. Problema de investigación. Hipótesis. Objetivo general. Objetivos específicos. Secuencia metodológica. Consideraciones preliminares. </p>



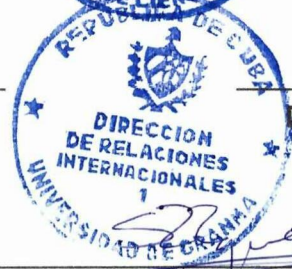
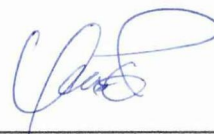
Ángel David Bustillos Casa.
ESTUDIANTE

Carlos Iván Quinatoa Caiza.
ESTUDIANTE



Dr.C. Rubén Jerez Pereira
TUTOR

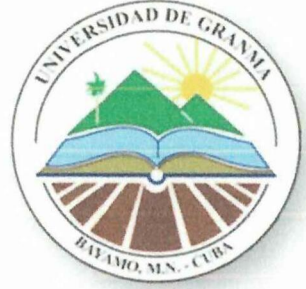



Dr.C. Yans Guardia Puebla
TUTOR


 Dr.C. Sergio Rodríguez Rodríguez
DIRECTOR DE RELACIONES INTERNACIONALES



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
UNIVERSIDAD DE GRANMA – REPUBLICA DE CUBA



**INFORME DE ACTIVIDADES QUINCENALES AL DESARROLLO DEL TEMA
DE INVESTIGACIÓN**

AUTORES: Ángel David Bustillos Casa.
Carlos Iván Quinatoa Caiza.

TUTORES: Rubén Jerez Pereira, Dr.C.
Yans Guardia Puebla, Dr.C.

ESPECIALIDAD: INGENIERÍA ELÉCTRICA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE
POTENCIA

TEMA:

Valoración de indicadores de confiabilidad operacional en Grupos Electrónicos HYUNDAI de 1,7 MW en la Subestación Eléctrica de Generación Distribuida de Bayamo, en la provincia de Granma.

FECHA: Del 16 de Abril al 30 de Abril del 2013.

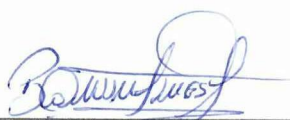
Mediante la presente nos permitimos expresarle un afectuoso y cordial saludo desde la Universidad de Granma, y dales a conocer nuestro trabajo quincenal desde la llegada a la República de Cuba, así como los avances realizados en este periodo en el desarrollo de la investigación.

Informamos las actividades que se han cumplido hasta la fecha anteriormente indicada, es importante mencionar que estamos cumpliendo a cabalidad con el cronograma de trabajo establecida para los estudiantes por la universidad de Granma.

CUADRO DE ACTIVIDADES QUINCENALES DEL TEMA DE INVESTIGACIÓN

FECHA	ACTIVIDAD
16-04-2013	➤ Preparación para el primer seminario de tesis
22-04-2013	➤ Realización del marco teórico
23-04-2013	<p>➤ Revisión y modificación con los tutores de los siguientes puntos a presentarse en el primer seminario de tesis :</p> <p>Tema. Antecedentes. Problema de investigación. Hipótesis. Objetivo general. Objetivos específicos. Secuencia metodológica. Consideraciones preliminares.</p> <p>➤ Indicaciones generales para la presentación del seminario de tesis por parte de los tutores.</p>
24-04-2013	<p>➤ Seminario dictado por parte del Dr.C Yans Guardia Puebla, a la facultad de Ciencias Técnicas Ingeniería Mecánica en donde se asistió los estudiantes de la UTC de las carreras de Ingeniería Eléctrica y Electromecánica.</p> <p>➤ Presentación del primer seminario de tesis en donde se exponen los siguientes puntos a los miembros que conforman la facultad de ciencias técnica.</p> <p>Tema. Antecedentes. Problema de investigación.</p>

	<p>Hipótesis.</p> <p>Objetivo general.</p> <p>Objetivos específicos.</p> <p>Secuencia metodológica.</p> <p>Consideraciones preliminares.</p> <p>En donde nos dan a conocer las sugerencias que se debe tener en cuenta para la modificación de los puntos anteriormente señalados.</p>
<p>25-04-2013</p> <p>30-04-2013</p>	<p>➤ Realización del primer capítulo o marco teórico.</p>



Ángel David Bustillos Casa.
ESTUDIANTE




Carlos Iván Quinatoa Caiza.
ESTUDIANTE



Dr.C. Rubén Jerez Pereira
TUTOR




Dr.C. Yans Guardia Puebla
TUTOR



Dr.C. Sergio Rodríguez Rodríguez
DIRECTOR DE RELACIONES INTERNACIONALES





UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
UNIVERSIDAD DE GRANMA – REPUBLICA DE CUBA



INFORME DE ACTIVIDADES QUINCENALES AL DESARROLLO DEL TEMA DE INVESTIGACIÓN

AUTORES: Ángel David Bustillos Casa.
Carlos Iván Quinatoa Caiza.

TUTORES: Rubén Jerez Pereira, Dr.C.
Yans Guardia Puebla, Dr.C.

ESPECIALIDAD: INGENIERÍA ELÉCTRICA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE
POTENCIA

TEMA:

Valoración de indicadores de confiabilidad operacional en Grupos Electrónicos HYUNDAI de 1,7 MW en la Subestación Eléctrica de Generación Distribuida de Bayamo, en la provincia de Granma.


FECHA: Del 01 de Mayo al 15 de Mayo del 2013.

Mediante la presente nos permitimos expresarle un afectuoso y cordial saludo desde la Universidad de Granma, y dales a conocer nuestro trabajo quincenal desde la llegada a la República de Cuba, así como los avances realizados en este periodo en el desarrollo de la investigación.

Informamos las actividades que se han cumplido hasta la fecha anteriormente indicada, es importante mencionar que estamos cumpliendo a cabalidad con el cronograma de trabajo establecida para los estudiantes por la universidad de Granma.

CUADRO DE ACTIVIDADES QUINCENALES DEL TEMA DE INVESTIGACIÓN

FECHA	ACTIVIDAD
01-05-2013 02-05-2013	➤ Realización del marco teórico.
03-05-2013	➤ Modificación de los siguientes puntos según las sugerencias tomadas en el primer seminario de tesis. Tema. Antecedentes. Problema de investigación. Hipótesis. Objetivo general. Objetivos específicos. Secuencia metodológica. Consideraciones preliminares. Conjuntamente con los tutores <ul style="list-style-type: none"> ➤ Indicaciones y sugerencias por parte de los tutores que se deben modificar en el Primer capítulo o marco teórico.
04-05-2013 15-05-2013	➤ Realización del primer capítulo tomando en cuenta las sugerencias de los tutores. ➤ Consulta de fuentes bibliográficas para la realización de los temas y subtemas que conforman el primer capítulo. ➤ Editar ecuaciones que comprende en el primer capítulo.




 Ángel David Bustillos Casa.
ESTUDIANTE






 Carlos Iván Quinatoa Caiza.
ESTUDIANTE



 Dr.C. Rubén Jerez Pereira
TUTOR





 Dr.C. Yans Guardia Puebla
TUTOR



 Dr.C. Sergio Rodríguez Rodríguez
DIRECTOR DE RELACIONES INTERNACIONALES



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
UNIVERSIDAD DE GRANMA – REPUBLICA DE CUBA



INFORME DE ACTIVIDADES QUINCENALES AL DESARROLLO DEL TEMA
DE INVESTIGACIÓN

AUTORES: Ángel David Bustillos Casa.
Carlos Iván Quinatoa Caiza.

TUTORES: Rubén Jerez Pereira, Dr.C.
Yans Guardia Puebla, Dr.C.

ESPECIALIDAD: INGENIERÍA ELÉCTRICA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE
POTENCIA

TEMA:

Valoración de la confiabilidad operacional en Grupos Electrógénos HYUNDAI de 1,7 MW en la Central Eléctrica de Generación Distribuida de Bayamo, en la provincia de Granma.

FECHA: Del 16 de Mayo al 31 de Mayo del 2013.

Mediante la presente nos permitimos expresarle un afectuoso y cordial saludo desde la Universidad de Granma, y dales a conocer nuestro trabajo quincenal desde la llegada a la República de Cuba, así como los avances realizados en este periodo en el desarrollo de la investigación.

Informamos las actividades que se han cumplido hasta la fecha anteriormente indicada, es importante mencionar que estamos cumpliendo a cabalidad con el cronograma de trabajo establecida para los estudiantes por la universidad de Granma.

CUADRO DE ACTIVIDADES QUINCENALES DEL TEMA DE INVESTIGACIÓN

FECHA	ACTIVIDAD
16-05-2013 18-05-2013	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Correcciones del primer capítulo.
20-05-2013	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Revisión del primer capítulo con los tutores.
21-05-2013 25-05-2013	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Consultas de los materiales y métodos para la realización del segundo capítulo. ➤ Consulta de las bibliografías para la realización del capítulo. <p>En donde se propone los siguientes puntos a considerarse:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Ubicación geográfica y caracterización de la central eléctrica de generación distribuida de Bayamo, en la provincia de Granma. ➤ Grupos electrógenos HYUNDAI de 1,7 MW. ➤ Control y criterios de fallas. ➤ Diseño experimental. ➤ Valoración de índices de confiabilidad operacional. ➤ Valoración de la incidencia de las fallas en la economía de explotación y la generación de electricidad.
27-05-2013 31-05-2013	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Revisión del capítulo conjuntamente con los tutores. ➤ Correcciones del capítulo.

Ángel David Bustillos Casa

Ángel David Bustillos Casa
ESTUDIANTE



Carlos Iván Quinatoa Caiza

Carlos Iván Quinatoa Caiza
ESTUDIANTE

Dr. C. Rubén Jerez Pereira

Dr. C. Rubén Jerez Pereira
TUTOR



Dr. C. Yans Guardia Puebla

Dr. C. Yans Guardia Puebla
TUTOR

Dr. C. Sergio Rodríguez Rodríguez

Dr. C. Sergio Rodríguez Rodríguez
DIRECTOR DE RELACIONES INTERNACIONALES



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
UNIVERSIDAD DE GRANMA – REPUBLICA DE CUBA



INFORME DE ACTIVIDADES QUINCENALES AL DESARROLLO DEL TEMA
DE INVESTIGACIÓN

AUTORES: Ángel David Bustillos Casa.
Carlos Iván Quinatoa Caiza.

TUTORES: Rubén Jerez Pereira, Dr.C.
Yans Guardia Puebla, Dr.C.

ESPECIALIDAD: INGENIERÍA ELÉCTRICA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE
POTENCIA

TEMA:

Valoración de la confiabilidad operacional en Grupos Electrónicos HYUNDAI de 1,7 MW en la Central Eléctrica de Generación Distribuida de Bayamo, en la provincia de Granma.

FECHA: Del 01 de Junio al 18 de Junio del 2013.

Mediante la presente nos permitimos expresarle un afectuoso y cordial saludo desde la Universidad de Granma, y dales a conocer nuestro trabajo quincenal desde la llegada a la República de Cuba, así como los avances realizados en este periodo en el desarrollo de la investigación.

Informamos las actividades que se han cumplido hasta la fecha anteriormente indicada, es importante mencionar que estamos cumpliendo a cabalidad con el cronograma de trabajo establecida para los estudiantes por la universidad de Granma.



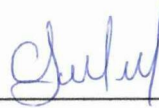
CUADRO DE ACTIVIDADES QUINCENALES DEL TEMA DE INVESTIGACIÓN

FECHA	ACTIVIDAD
03-06-2013 04-06-2013	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Preparación para la presentación del segundo seminario de tesis. ➤ Realización del tercer y último capítulo ➤ Análisis y discusión de resultados
05-06-2013	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Presentación y exposición del segundo capítulo a los profesores del departamento de ciencias técnicas, en donde nos dan a conocer las sugerencias al momento de la presentación.
06-06-2013	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Correcciones del capítulo dos tomando en cuenta las sugerencias de los profesores que estuvieron en la exposición, conjuntamente con los tutores.
07-06-2013 08-06-2013	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Capítulo III. Análisis y discusión de los resultados ➤ Revisión de datos numéricos en el historial del grupo electrógeno para el análisis respectivo. ➤ Diseño experimental con el software Statgraphis.
10-06-2013	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Diseño experimental con el software Statgraphis. ➤ Muestras estadísticas en Excel.
11-06-2013	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Diseño experimental usando la estadística descriptiva y método de regresión lineal múltiple
12-06-2013 14-06-2013	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Resultados de la valoración de los índices de confiabilidad operacional. ➤ Tiempo promedio entre fallas (TPEF). ➤ Tiempo promedio para reparación (TPPR). ➤ Tiempo promedio para fallas (TPPF). ➤ Disponibilidad del equipo (DISP). ➤ Utilización productiva. ➤ Caracterización estadística de las fallas. ➤ Valoración de la incidencia de las fallas en la economía de explotación y la generación de electricidad. ➤ Relación del costo de mantenimiento versus producción obtenida. ➤ Valoración de la demanda de piezas críticas. ➤ CONCLUSIONES ➤ RECOMENDACIONES
14-06-2013	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Entrega de la tesis impresa en hojas formato carta al opositor.
15-06-2013	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Preparación para la defensa de la tesis.
16-06-2013	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Preparación para la defensa de la tesis. ➤ Respuesta del opositor a cerca de la tesis en donde nos hace dos preguntas de la tesis.

17-06-2013	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Respuesta a las preguntas del opositor conjuntamente con los tutores. ➤ Preparación y ensayo para la defensa de la tesis.
18-06-2013	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Día de la presentación de la defensa de tesis. ➤ Culminación y titulación.



Ángel David Bustillos Casa.
ESTUDIANTE



Carlos Iván Quinatoa Caiza.
ESTUDIANTE




Dr.C. Rubén Jerez Pereira
TUTOR



Dr.C. Yans Guardia Puebla
TUTOR




Dr.C. Sergio Rodríguez Rodríguez
DIRECTOR DE RELACIONES INTERNACIONALES



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
UNIVERSIDAD DE GRANMA – REPUBLICA DE CUBA



INFORME FINAL DEL TEMA DE INVESTIGACIÓN

AUTORES: Ángel David Bustillos Casa.
Carlos Iván Quinatoa Caiza.

TUTORES: Rubén Jerez Pereira, Dr.C.
Yans Guardia Puebla, Dr.C.

ESPECIALIDAD: INGENIERÍA ELÉCTRICA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA

TEMA:

Valoración de la confiabilidad operacional en Grupos Electrónicos HYUNDAI de 1,7 MW en la Central Eléctrica de Generación Distribuida de Bayamo, en la provincia de Granma.

FECHA: 18 junio del 2013.

Mediante la presente nos permitimos expresarle un afectuoso y cordial saludo desde la Republica de Cuba, y darles a conocer nuestra culminación del trabajo de tesis, realizado en la Universidad de Granma, y a la vez Informamos que las actividades se han cumplido a cabalidad con el cronograma de trabajo establecido durante todo el periodo que se realizó el tema de investigación.

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	1
Capítulo I. Antecedentes y estado actual del tema.	5
1.1. <i>Confiabilidad operacional. Paradigmas</i>	5
1.1.1. La confiabilidad operacional	5
1.2. <i>Factores que influyen en la confiabilidad operacional.</i>	6
1.2.1. Factores universales.	6
1.3. <i>Estimación de la probabilidad de fallas y/o la confiabilidad operacional.</i>	7
1.3.1. Confiabilidad.....	7
1.3.2. Curva de confiabilidad.	8
1.3.3. Estimación de la confiabilidad basada en la condición.....	10
1.3.4. Predicción del número de fallas basado en el historial de fallas.	11
1.4. <i>Análisis de modos de falla y sus efectos (FMEA).</i>	11
1.4.1. Falla.	11
1.4.2. FMEA.	11
1.4.3. Diagrama de bloques.	12
1.5. <i>Mantenimiento centrado en confiabilidad.</i>	15
1.5.1. Definición del RCM (Reliability Centered Maintenance).	15
1.5.2. Objetivos y beneficios del RCM.	16
1.5.3. Pasos del RCM.....	16
1.5.4. Funciones y parámetros de funcionamiento.	17
1.5.5. Fallas funcionales.	17
1.5.6. Modos de falla.....	17
1.6. <i>Indicadores de la confiabilidad operacional.</i>	18
1.6.1. Tiempo promedio para fallar (TPPF) – mean time to fail (MTTF).....	18
1.6.2. Tiempo promedio para reparar (TPPR) – mean time to repair (MTTR).	19
1.6.3. Disponibilidad (DISP).....	20
1.6.4. Utilización.....	20
1.6.5. Confiabilidad.....	20
1.6.6. Tiempo promedio entre fallos (TMEF) – mean time between failures (MTBF).....	21
1.7. <i>Generación distribuida en Cuba y Latinoamérica.</i>	22
1.7.1. Breve historia.	22
1.7.2. Concepto.	23
1.7.3. Beneficios de la generación distribuida para el usuario.....	23
1.7.4. Beneficios de la generación distribuida para el suministrador.....	24
1.7.5. La generación distribuida en otros países.	24
1.7.6. Los grupos electrógenos en Cuba.	24
1.8. <i>Confiabilidad y costos de operación.</i>	26
1.8.1. Modelos para costo de confiabilidad.	26
1.9. <i>Los grupos electrógenos y su impacto ambiental.</i>	28
Capítulo II. Materiales y métodos.	30

2.1. Ubicación geográfica y caracterización de la central eléctrica de generación distribuida de Bayamo, en la provincia de Granma	30
2.2. Grupos electrógenos HYUNDAI de 1,7 MW.	31
2.3. Control y criterios de fallas.	34
2.3.1. Control.	34
2.3.2. Criterios de fallas: características o conjunto de características de incapacidad de trabajo establecida en la documentación técnica.....	35
2.4. Diseño experimental.....	36
2.4.1. Estadística descriptiva.	36
2.4.2. Regresión lineal múltiple.....	37
2.5. Valoración de índices de confiabilidad operacional.	38
2.6. Valoración de la incidencia de las fallas en la economía de explotación y la generación de electricidad.	40
Capítulo III. Análisis y discusión de los resultados.....	41
3.1. Resultados de la valoración de los índices de confiabilidad operacional.	41
3.1.1. Tiempo promedio entre fallas (TPEF).	41
3.1.2. Tiempo promedio para reparación (TPPR).	44
3.1.3. Tiempo promedio para fallas (TPPF).	47
3.1.4. Disponibilidad del equipo (DISP).	48
3.1.5. Utilización productiva.	50
3.2. Caracterización estadística de las fallas	51
3.2. Valoración de la incidencia de las fallas en la economía de explotación y la generación de electricidad.	57
3.2.1. Relación del costo de mantenimiento versus producción obtenida.....	57
3.3. Valoración de la demanda de piezas críticas.	59
CONCLUSIONES	63
RECOMENDACIONES	64
BIBLIOGRAFÍA	65

Ángel David Bustillos Casa

Ángel David Bustillos Casa.
ESTUDIANTE



Carlos Iván Quinatoa Caiza

Carlos Iván Quinatoa Caiza.
ESTUDIANTE

Dr. C. Rubén Jerez Pereira

Dr.C. Rubén Jerez Pereira
TUTOR



Dr. C. Yans Guardia Puebla

Dr.C. Yans Guardia Puebla
TUTOR

Dr. C. Sergio Rodríguez Rodríguez

Dr.C. Sergio Rodríguez Rodríguez
DIRECTOR DE RELACIONES INTERNACIONALES

DEDICATORIA

A Dios.

Por su fidelidad y amor, por ser quien guía mi camino en todo lugar; por permitirme llegar a este punto anhelado y feliz de mi vida.

A mi padre Abelardo.

Por los ejemplos de bondad y cariño que me han impulsado a seguir adelante, por la dedicación de mantenernos juntos con amor y felicidad pese a todas las circunstancias.

A mi madre Clemencita.

Por encaminarme a ser una persona de bien, por su apoyo incondicional en todo momento, por sus consejos, por sus oraciones, pero más que nada, por su gran amor para conmigo.

A mi amada esposa Carito y a mi hijo precioso.

Por permitirme compartir cada sueño junto a ustedes, porque sé que pese a mi ausencia su amor y su cariño siempre están vivos y crecientes, pero por sobre todo por permitirme forjar una vida llena de amor junto a ustedes. **¡Gracias mi amores!.....**

A mis hermanos/as Luz María, Susana, Pilar, Raquel, Joselito, Edison.

A mis cuñados/as Enrique, Moisés, Danilo, David, Mayrita, Jenny; y a todos mis queridos sobrinos/as;

Por sus ánimos y ser quienes llenan de felicidad mi vida. Ustedes son el motivo de seguir triunfando y superándome cada día, son todo para mí.... Los amoooo...

! Muchas gracias por todo ;

Angel David Bustillos Casa.

AGRADECIMIENTOS

A Dios.

Por darme la vida y permitirme llegar a este momento tan especial en mi vida. Por permitirme realizar mis metas y ayudarme a superar los momentos difíciles que me han enseñado creer que puedo confiar en su inmenso amor.

A ti Padre.

Por el cariño, y el apoyo que me has brindado para culminar mi carrera profesional, por enseñarme a ser alguien responsable y respetuoso en todo lugar. **¡Gracias viejito lindo!**

A ti Madre.

Por tus consejos, por el amor que siempre me has brindado, por haberme educado y corregido con tanto ahínco, por soportar mis errores. Por cultivar e inculcar responsabilidad, respeto y voluntad de superación. **¡Gracias chulita, te quiero muchísimo!**

A ti amada esposa (Gatita) y a ti hijo mío.

Por haber llegado a mi vida y decidir amarme sin condiciones, por permitirme compartir con ustedes mis ilusiones por su apoyo, por haber creído en mí, por querer compartir conmigo toda su vida. Los amo mis amores son la bendición más grande que Dios me ha dado.

A mis maestros.

En especial: al, Dr.C. Rubén Jerez Pereira, y al Dr.C. Yans Guardia Puebla por su tiempo, por su apoyo; por haber guiado el desarrollo de este trabajo y llegar a la culminación del mismo.

A la Universidad Técnica de Cotopaxi y en especial a la Carrera de Ingeniería Eléctrica por el conocimiento y la sabiduría que me transmitieron en el desarrollo de mi formación profesional.

¡Muchas Gracias!

Angel David Bustillos Casa.

DEDICATORIA

A DIOS, por brindarme día a día la salud necesaria para vivir y la fuerza, la confianza, la honestidad, que necesité para cumplir con esta meta.

A mi madre Luisa Quinatoa Caiza, la brillante e inteligente mujer que me dio la vida, sin quien yo nada sería. Siempre ha estado conmigo para darme fe, esperanza y amor, y sin esperar nada a cambio la ha dado todo por mí.

A mi Tío Alcides Quinatoa Caiza, que con toda su ayuda, su dedicación y su apoyo es el pilar fundamental para yo poder obtener este logro.

A mis abuelitos Manuel y Ercelinda, esperanza que desde el fondo de mi corazón, me dan siempre ese impulso de vida para triunfar, y con sus bendiciones desde el cielo me cuidan y guían mi camino.

Carlos Iván Quinatoa Caiza

AGRADECIMIENTOS

A Dios por sobre todas las cosas, por la vida, la salud y la oportunidad de realizar este trabajo.

A mis padres, Luisa y Segundo, les agradezco la vida, su apoyo y su comprensión, siempre han sido un ejemplo de esfuerzo y dedicación digno de imitar; gracias por estar conmigo en todo momento y por el inmenso amor que me han dado y la confianza que siempre han depositado en mí.

A mi tío ALCIDES, por brindarme toda la ayuda necesaria para lograr todo lo que he alcanzado hasta hoy en día, gracias a su esfuerzo y dedicación, he podido obtener esta importante meta.

A todos mis hermanos (as), por el apoyo que me han dado siempre y su cariño.

A los tutores, Dr.C. Rubén Jerez Pereira y Dr.C. Yans Guardia Puebla, por acogerme y haberme brindado la orientación y la ayuda necesaria, para la culminación de este proyecto de titulación, les doy muchas gracias.

A los profesores de la Universidad Técnica de Cotopaxi de la carrera de Ingeniería Eléctrica en Sistemas Eléctricos de Potencia, y todas las personas que de una u otra forma han ayudado a mi formación profesional, les doy muchas gracias.

A la universidad de Granma y a todos los profesores que conforman la facultad de ciencias técnicas, por la acogida y la ayuda brindada, gracias.

Carlos Iván Quinatoa Caiza



RESUMEN

En el presente trabajo se desarrolló una investigación relacionada con los grupos electrógenos HYUNDAI de 1,7 MW, como caso de estudio se tomó a la central eléctrica fuel oil de generación distribuida en Bayamo, en la provincia de Granma con el objetivo de valorar la confiabilidad operacional de los mismos que permita la introducción progresiva de mejoras en la operación y el mantenimiento. Para ello, se calcularon los índices de clase mundial que comprende esencialmente la gestión de equipos dentro de los que se encuentran el tiempo promedio entre fallas, tiempo promedio para la falla, tiempo promedio para reparación, disponibilidad y utilización técnica, así como la gestión de costos que incluye la relación entre costos de mantenimiento versus costos de producción y costo total de mantenimiento frente a la producción total obtenida en el período analizado. Los análisis realizados, aplicando inicialmente la estadística descriptiva y luego la regresión múltiple, resultaron ser herramientas efectivas para evaluar las tendencias en las fallas producidas en los motores acoplados a cada generador y, en correspondencia con ello, trazar las estrategias pertinentes encaminadas a la mejora continua de la calidad en los servicios de mantenimientos y reparaciones ejecutados y, por ende, al logro de una eficiente confiabilidad operacional.

ABSTRACT

In this paper we developed a related research HYUNDAI generating sets 1.7 MW, as a case study was taken to the central electricity distributed generation fuel oil in Bayamo, in Granma province in order to assess the reliability operational there of which allows the gradual introduction of improvements in the operation and maintenance. To do this, we calculated indices comprising essentially world class management teams within which are the mean time between failures, mean time to failure, mean time to repair, availability and use technical and management costs including the relationship between maintenance costs versus production costs and total cost of ownership compared to the total production obtained in the period. The analyzes performed, initially using descriptive statistics and multiple regression then proved to be effective tools to assess trends in the faults produced in engines coupled to each generator and in correspondence with this, draw relevant strategies aimed at continuous improvement quality of maintenance services and repairs executed and thus the achievement of an efficient operational reliability.

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	1
Capítulo I. Antecedentes y estado actual del tema.....	5
1.1. <i>Confiabilidad operacional. Paradigmas</i>	5
1.1.1. La confiabilidad operacional.....	5
1.2. <i>Factores que influyen en la confiabilidad operacional.</i>	6
1.2.1. Factores universales.....	6
1.3. <i>Estimación de la probabilidad de fallas y/o la confiabilidad operacional.</i>	7
1.3.1. Confiabilidad.....	7
1.3.2. Curva de confiabilidad.....	8
1.3.3. Estimación de la confiabilidad basada en la condición.....	10
1.3.4. Predicción del número de fallas basado en el historial de fallas.....	10
1.4. <i>Análisis de modos de falla y sus efectos (FMEA).</i>	11
1.4.1. Falla.....	11
1.4.2. FMEA.....	11
1.4.3. Diagrama de bloques.....	12
1.5. <i>Mantenimiento centrado en confiabilidad.</i>	14
1.5.1. Definición del RCM (Reliability Centered Maintenance).....	14
1.5.2. Objetivos y beneficios del RCM.....	15
1.5.3. Pasos del RCM.....	16
1.5.4. Funciones y parámetros de funcionamiento.....	16
1.5.5. Fallas funcionales.....	16
1.5.6. Modos de falla.....	16
1.6. <i>Indicadores de la confiabilidad operacional.</i>	18
1.6.1. Tiempo promedio para fallar (TPPF) – mean time to fail (MTTF).....	18
1.6.2. Tiempo promedio para reparar (TPPR) – mean time to repair (MTTR)...	18
1.6.3. Disponibilidad (DISP).....	19
1.6.4. Utilización.....	19
1.6.5. Confiabilidad.....	19
1.6.6. Tiempo promedio entre fallos (TMEF) – mean time between failures (MTBF).....	21
1.7. <i>Generación distribuida en Cuba y Latinoamérica.</i>	22
1.7.1. Breve historia.....	22
1.7.2. Concepto.....	22
1.7.3. Beneficios de la generación distribuida para el usuario.....	23
1.7.4. Beneficios de la generación distribuida para el suministrador.....	23
1.7.5. La generación distribuida en otros países.....	23
1.7.6. Los grupos electrógenos en Cuba.....	24

1.8. Confiabilidad y costos de operación.....	25
1.8.1. Modelos para costo de confiabilidad.....	25
1.9. Los grupos electrógenos y su impacto ambiental.....	28
Capítulo II. Materiales y métodos.....	30
2.1. Ubicación geográfica y caracterización de la central eléctrica de generación distribuida de Bayamo, en la provincia de Granma.....	30
2.2. Grupos electrógenos HYUNDAI de 1,7 MW.....	30
2.3. Control y criterios de fallas.....	34
2.3.1. Control.....	34
2.3.2. Criterios de fallas: características o conjunto de características de incapacidad de trabajo establecida en la documentación técnica.....	34
2.4. Diseño experimental.....	35
2.4.1. Estadística descriptiva.....	36
2.4.2. Regresión lineal múltiple.....	36
2.5. Valoración de índices de confiabilidad operacional.....	37
2.6. Valoración de la incidencia de las fallas en la economía de explotación y la generación de electricidad.....	39
Capítulo III. Análisis y discusión de los resultados.....	40
3.1. Resultados de la valoración de los índices de confiabilidad operacional.....	40
3.1.1. Tiempo promedio entre fallas (TPEF).....	40
3.1.2. Tiempo promedio para reparación (TPPR).....	42
3.1.3. Tiempo promedio para fallas (TPPF).....	45
3.1.4. Disponibilidad del equipo (DISP).....	46
3.1.5. Utilización productiva.....	48
3.2. Caracterización estadística de las fallas.....	50
3.3. Valoración de la incidencia de las fallas en la economía de explotación y la generación de electricidad.....	54
3.3.1. Relación del costo de mantenimiento versus producción obtenida.....	54
3.4. Valoración de la demanda de piezas críticas.....	56
CONCLUSIONES.....	59
RECOMENDACIONES.....	60
BIBLIOGRAFÍA.....	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Parámetros de la Confiabilidad Operacional	6
Figura 2. Diagrama de bloques para realizar el análisis de modos de fallas (FMEA)	12
Figura 3. Sistema en serie.	12
Figura 4. Sistema en paralelo	13
Figura 5. Pasos del mantenimiento centrado en confiabilidad.....	16
Figura 6. Modelos de falla	17
Figura 7. Grupos electrógenos en Bayamo, Cuba.....	25
Figura 8. Relación dialéctica entre confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad.....	26
Figura 9. Costos de la confiabilidad.....	27
Figura 10. Grupo electrógeno HYUNDAI 1.7 MW con motor 9H21/32 de 210 kW.....	31
Figura 11. Vista en corte del motor 9H21/32 de 210 kW	31
Figura 12. Diagrama de caja y bigotes.....	36
Figura 13. Comportamiento del tiempo promedio entre fallas (TPEF) en los motores 9H21/32.	41
Figura 14. Distribución de las fallas clasificadas en críticas y no críticas.....	42
Figura 15. Gráfico comparativo entre las fallas totales y porcentaje de fallas críticas.	43
Figura 16. Gráfico comparativo del tiempo promedio para la reparación (TPPR).	44
Figura 17. Gráfico comparativo del tiempo promedio para la falla (TPPF).	46
Figura 18. Disponibilidad técnica de los motores 9H21/32 (Disp).	47
Figura 19. Utilización productiva de los motores 9H21/32 (U).....	49
Figura 20. Relación de la disponibilidad y la utilización productiva.	49
Figura 21. Gráficos de cajas y bigotes que caracterizan las fallas en los motores 9H21/32.	51
Figura 22. Diagrama que muestra la incidencia del porcentaje de contribución de los componentes de los modelos lineales obtenidos.	53
Figura 23. Dispersión entre los valores observados y los valores predichos por los modelos	54
Figura 24. Relación del costo de mantenimiento versus producción obtenida.	55
Figura 25. Distribución de las piezas críticas de alta demanda de los motores 9H21/32.	57
Figura 26. Distribución de piezas críticas por cada motor 9H21/32.....	58



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características técnicas del motor modelo 9H21/32.....	33
Tabla 2. Estadística descriptiva de los motores 9H21/32.	50
Tabla 3. Tabla de análisis de varianza (ANOVA).	52
Tabla 4. Relación de costos de mantenimiento versus producción del periodo de julio. enero/2012 – 2013.	55
Tabla 5. Relación porcentual costo de mantenimiento vs costo de producción y generación producida en el periodo de julio enero/2012 – 2013.....	56
Tabla 6. Relación de costos de las piezas críticas de alta demanda.	58

GLOSARIO DE TÉRMINOS

SEN: Sistema Electroenergético Nacional.

GD: Generación Distribuida.

PC: Parámetro de Condición.

PRC: Parámetro Relevante de Condición.

FMEA: Análisis de Modos de Falla y sus Efectos.

RCM: Reliability Centered Maintenance.

TTPF: Tiempo Promedio Para Fallar.

TTPR: Tiempo Promedio Para Reparar.

DISP: Disponibilidad.

TPEF: Tiempo Promedio Entre Fallos.

IEEE: Institute of Electrical and Electronic Engineers.

CIGRE: International Council on Large Electric Systems.

MCI: Motores de Combustión Interna.

GEYSEL: Grupo Electrógeno y Subestación Eléctrica.

GDECU: Generación Distribuida de Electricidad en Cuba.

ANOVA: Analysis Of Variance

CUC: Peso Cubano Convertible

INTRODUCCIÓN

En el mundo moderno el desarrollo de un país se mide entre otros elementos por el nivel de electrificación que el mismo posee, debido a que la electricidad es la principal fuente de energía para la realización de la mayoría de las actividades productivas, económicas, administrativas y de servicio.

La generación eléctrica en Cuba se realiza, fundamentalmente, con plantas centralizadas que no rebasan el 31% de eficiencia, con veinte o más años de explotación, y concentradas en pocas regiones de país. Debido a los peligros eminentes causados por fenómenos naturales, además de otras causas, la producción de electricidad en el país se ha descentralizado. La generación distribuida (GD), en los momentos actuales pasa a ser una de las premisas fundamentales de país; en aras de garantizar el servicio eléctrico con eficiencia y seguridad, sobre todo si se tienen en cuenta los Programas de la Batalla de Ideas que desarrolla la Revolución Cubana para mejorar, en sentido general, el nivel de vida de la población. En la provincia de Granma el grueso de la generación de electricidad se realiza con baterías de grupos electrógenos, emplazados en Bayamo, Manzanillo, y otros municipios. El promedio de trabajo de estas máquinas sobrepasan las diez horas diarias, y su principal misión es apuntalar el pico diurno y nocturno; así como aportar potencia al Sistema Electroenergético Nacional (SEN, 2006).

Una interrupción, por breve que sea, provoca considerables trastornos y pérdidas en la producción industrial; en el transporte, en las comunicaciones del sector financiero, y en las tareas de la defensa del país (Moscoso, 2007). Debido a la variedad de contingencias a la que se han expuesto los grupos electrógenos, en la actualidad se ha hecho necesario preocuparse continuamente por la confiabilidad operacional de éstos; para lo cual se realizan estudios, que permiten obtener respuestas que servirán para el análisis y evaluación del sistema en diversos departamentos de la empresa, tales como operaciones, planificación, entre otras.

Para los estudios de confiabilidad operacional existen diversos métodos y técnicas de evaluación para la confiabilidad; pero el principal problema, desde el

año 1964 (año en que se publicaron los primeros trabajos sobre los estudios de cálculos de confiabilidad aplicados a los sistemas eléctricos) hasta la fecha, ha sido la disponibilidad de los datos. Todos los métodos de evaluación conocidos se basan en la combinación de los parámetros de confiabilidad de los elementos componentes, obligando a llevar un registro de las fallas de cada elemento del sistema eléctrico; entre los que se encuentran: los generadores, los transformadores, los interruptores, los alimentadores, entre otros componentes. Normalmente las empresas llevan un registro de las fallas; con identificaciones muy sencillas, pero muy necesarias, para una evaluación (Moscoso, 2007).

En la central eléctrica de generación distribuida del municipio Bayamo, en la provincia Granma, se realizan los controles diarios de las fallas; sin embargo, es necesario analizar los indicadores de la confiabilidad operacional que garanticen un mejor servicio. Por este motivo es necesario contar con una base conceptual que permita la comprensión del tema. Para este efecto, se expondrán definiciones y fundamentos en el análisis de los parámetros que intervienen en un estudio de confiabilidad operacional, y se indicarán los índices de confiabilidad operacional de clase mundial a utilizar, que permiten monitorear el desempeño de los Grupos Electrógenos HYUNDAI de dicha subestación.

Analizando los aspectos antes abordados, se plantea el siguiente **problema científico**:

¿Cómo lograr una mejora continua de la confiabilidad operacional en los grupos electrógenos HYUNDAI de 1,7 MW, pertenecientes a la central eléctrica de generación distribuida de Bayamo, en la provincia de Granma, a partir de una valoración de los índices que la caracterizan?

Como **objeto de estudio** se plantea:

La confiabilidad operacional en los grupos electrógenos HYUNDAI de 1,7 MW de la central eléctrica de generación distribuida de Bayamo, en la provincia de Granma.

Como **Campo de acción** de este trabajo se presenta:

El cálculo, el análisis y la valoración de los índices de confiabilidad operacional en los motores 9H21/32 conectados a los grupos electrógenos HYUNDAI de 1,7 MW de la central eléctrica de generación distribuida de Bayamo, en la provincia de Granma.

Para dar solución a la problemática antes planteada, se propone la siguiente **hipótesis**:

El análisis y la valoración de los índices que caracterizan la confiabilidad operacional de los grupos electrógenos HYUNDAI de 1,7 MW, de la central eléctrica de generación distribuida de Bayamo, en la provincia de Granma, pudiera ser una vía factible para lograr una mejora en la funcionabilidad y la gestión del mantenimiento.

Para dar solución a la hipótesis antes planteada se presenta la siguiente **objetivo general**:

Valorar los principales índices que caracterizan la confiabilidad operacional en los grupos electrógenos HYUNDAI de 1,7 MW, de la central eléctrica de generación distribuida de Bayamo, en la provincia de Granma, los cuáles permitan el diseño de estrategias adecuadas para lograr una mejora en la funcionabilidad y en la gestión del mantenimiento de los mismos.

Como **objetivos específicos** se proponen:

- *Valorar comparativamente el estado del arte sobre las particularidades de los índices que caracterizan a la confiabilidad operacional.*
- *Valorar las potencialidades que brinda el análisis sistemático de la confiabilidad operacional para la mejora de la funcionabilidad y la gestión del mantenimiento.*
- *Calcular los índices que caracterizan la confiabilidad operacional en los motores 9H21/32 conectados a los grupos electrógenos.*
- *Valorar la confiabilidad operacional en estos grupos electrógenos basado en el análisis de los índices que caracterizan la confiabilidad operacional.*



Métodos de investigación

Durante el desarrollo del trabajo se utilizaron algunos métodos teóricos, tales como el análisis y síntesis, inductivo-deductivo, y el histórico lógico; además, también se utilizaron algunos métodos de la estadística-matemática, como la estadística descriptiva y la regresión lineal múltiple.

Los métodos de análisis y síntesis posibilitaron descomponer el objeto de investigación de este trabajo (grupos electrógenos) en sus diferentes conjuntos, subconjuntos, mecanismos y piezas. De este modo, se pudo revelar, en el orden teórico conceptual, las cualidades funcionales; así como las principales fallas características de los motores HYUNDAI de 1,7 MW de la central eléctrica de generación distribuida de Bayamo, especialmente en el motor 9H21/32. Luego, se estableció la unión entre las partes previamente analizadas, posibilitando descubrir las múltiples relaciones e interdependencias entre sus componentes.

Las apreciaciones verbales permitieron establecer las características del proceso de generación distribuida de energía eléctrica a partir de los grupos electrógenos, las tendencias actuales en la mejora de la confiabilidad operacional y su relación con la gestión del mantenimiento, y realizar una comparación con sentido crítico de los documentos revisados.

La observación fue aplicada fundamentalmente durante la toma de los datos, reconociéndose como información las manifestaciones de las fallas en los motores objeto de estudio; no obstante, éste método se encuentra siempre presente durante el desarrollo de toda la investigación.

Los métodos estadísticos, se utilizaron para la cuantificación y el procesamiento de los datos obtenidos, posibilitando una mejor interpretación. Su utilidad se evidenció en el momento de calcular los índices de la confiabilidad operacional, en la tabulación de los datos obtenidos, y en el tratamiento estadístico de éstos, que llevaron a verificar la hipótesis antes planteada y establecer generalizaciones a partir de ellos.

Capítulo I. Antecedentes y estado actual del tema.

1.1. Confiabilidad operacional. Paradigmas

1.1.1. La confiabilidad operacional

La confiabilidad operacional se define como una serie de procesos de mejora continua, que incorporan en forma sistemática, avanzadas herramientas de diagnóstico, metodologías de análisis y nuevas tecnologías; permitiendo optimizar en la producción industrial la gestión, la planeación, la ejecución y el control del proceso (Amendola, 2002). Otros autores, como Matos y Torres (2004), definen la confiabilidad operacional como la capacidad de una instalación o un sistema (proceso, tecnología y personas), para cumplir su función dentro de sus límites de diseño y bajo un contexto operacional específico.

En un programa de optimización de la confiabilidad de un sistema, es necesario el análisis de los siguientes cuatro parámetros: la confiabilidad humana, la confiabilidad de los procesos, y el mantenimiento y la confiabilidad de los equipos (Figura 1).

La confiabilidad de los equipos integra las estrategias de mantenimiento empleadas, la efectividad del mantenimiento y el incremento del tiempo medio entre los fallos. Por otro lado, la confiabilidad de los procesos define la operación confiable dentro de los parámetros de diseño, además de la correcta interpretación de los procesos y de los procedimientos aplicados.

Mientras, la confiabilidad humana, incluye el grado de compromiso y el sentido de pertenencia del personal, así como el nivel de conocimiento y de sus habilidades. Por último, el mantenimiento de los equipos garantiza la continuidad de la confiabilidad incorporada desde la etapa de diseño, la disminución del tiempo medio para la reparación y la facilidad para la ejecución de las tareas de mantenimiento.

La variación en conjunto o individual de cualquiera de estos parámetros, afectará el comportamiento global de la confiabilidad operacional de un determinado sistema. Todos estos parámetros operativos están estrechamente

relacionados y, por tanto, un programa de confiabilidad operacional no puede ignorar ninguno de estos elementos.

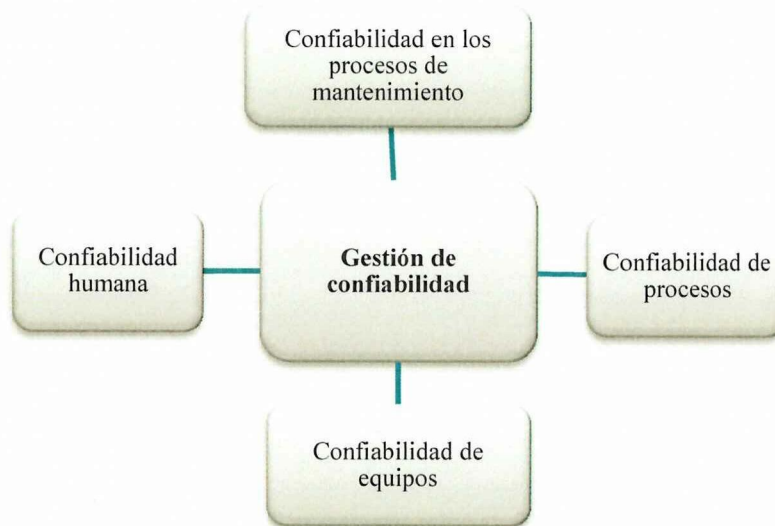


Figura 1. Parámetros de la Confiabilidad Operacional (Matos y Torres, 2004).

1.2. Factores que influyen en la confiabilidad operacional.

1.2.1. Factores universales.

Otros cinco factores, llamados factores universales, también se consideran que están presentes en todo recurso por conservar; y se presentan a continuación: la edad del equipo, el medio ambiente en donde se opera, la carga de trabajo del equipo, la apariencia física del equipo y las mediciones o pruebas de funcionamiento del equipo.

Los diversos estudios del producto se relacionan, vinculan y examinan conjuntamente, para poder determinar la confiabilidad del mismo bajo todas las perspectivas posibles; determinando así, los posibles problemas y poder sugerir correcciones, cambios y/o mejoras en los productos o elementos.

Existen dos tipos de fallas: las fallas funcionales y las fallas parciales; las cuáles serán explicadas a continuación. Las fallas funcionales indican la capacidad de cualquier elemento físico de satisfacer un criterio de funcionamiento deseado; por ejemplo, un equipo que deja de funcionar totalmente. Por otro lado,

las fallas parciales (potenciales) se definen como las condiciones físicas identificables que indican que va a ocurrir una falla funcional. Estas fallas están por encima o por debajo de los parámetros identificados para cada función. Por ejemplo, el elemento no cumple un estándar o parámetro establecido para su óptimo servicio (Escalona, 2008).

1.3. Estimación de la probabilidad de fallas y/o la confiabilidad operacional.

1.3.1. Confiabilidad.

Según Botero (2003), la confiabilidad es la “probabilidad de que una máquina o sistema cumpla la función requerida bajo condiciones bien definidas durante un cierto periodo de tiempo”. Sin embargo, Sexto (2005) expresó una definición más concisa, desde el punto de vista del mantenimiento. Por lo tanto, la confiabilidad es una medida de la seguridad y del riesgo; es un grado de confianza de que un activo cumplirá su función, bajo ciertas condiciones, durante un tiempo dado.

La definición de confiabilidad muestra que existen cuatro características que definen su estructura:

1. La probabilidad,
2. El desempeño satisfactorio,
3. El período,
4. Las condiciones específicas.

1.3.1.1. Probabilidad.

Las mediciones de (confiabilidad-mantenibilidad) se hacen en términos de la probabilidad. Ésta se define en forma clásica como el resultado de dividir el número de veces de los casos estudiados (intentos o eventos, favorables o no) entre el número total posible de casos (intentos o eventos). En la medida que la cantidad de intentos o casos posibles sea mayor la probabilidad se vuelve más exacta y cercana al valor real. Por ejemplo, la probabilidad de un desempeño eficaz durante 80 horas es de 0.75 (75%), indica que el equipo funciona satisfactoriamente 75 veces de 100 ensayos por al menos 80 horas (Blanchard *et al.*, 1994).

1.3.1.2. Desempeño satisfactorio.

El desempeño satisfactorio indica que se deben establecer criterios específicos para describir lo que es considerado como una operación satisfactoria. Una combinación de los factores cualitativos y cuantitativos definen las funciones que el sistema (equipo) debe lograr, usualmente son las especificaciones del sistema (Blanchard *et al.*, 1994); además implica conocer cuando el equipo falla, y ya no se desempeña satisfactoriamente.

1.3.1.3. Período

El período es la variable aleatoria de la definición de confiabilidad, y se refiere a la duración del funcionamiento o duración de vida del equipo. No necesariamente tiene que ser dado en horas, días, meses o años. De acuerdo con el sistema, el período puede ser medido por un reloj, por el tiempo exacto de operación, por el número de ciclos de operación o, incluso, en otras medidas, tales como kilómetros recorridos, como es el caso de las llantas de un automóvil (Ramakumar, 1996; Ebeling, 2005). El análisis de dicha variable aleatoria implica el uso de las distribuciones de probabilidad que deben ser modelos razonables de la dispersión de los tiempos de vida (Nachlas, 1995).

1.3.1.4. Condiciones específicas.

Las condiciones específicas son las condiciones en las que se espera que el equipo funcione. Además, constituye el cuarto elemento relevante de la definición básica de confiabilidad. Éste parámetro incluye algunos factores tales como ubicación geográfica donde se espera que el equipo opere, el medio ambiente, las vibraciones, el transporte, el almacenamiento, el empaque, la cantidad de la carga, entre otras (Ramakumar, 1996).

1.3.2. Curva de confiabilidad.

La forma gráfica en que se expresa la confiabilidad, depende de su formulación matemática.

La probabilidad de ocurrencia de un evento de falla (P_f) se define mediante la expresión:



$$Pf = \frac{n}{N} \quad \text{Ec. 1}$$

Dónde: n , es el evento de fallas; N , es el número total de eventos posibles.

Por lo que la probabilidad de ocurrencia de falla queda definida como la probabilidad de que ocurra el evento n ante una serie grande o infinita (N) de eventos posibles.

$$Pf = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{n}{N} \quad (\text{Ec. 2})$$

Otro parámetro importante es la probabilidad de confiabilidad de éxito o de supervivencia en un tiempo a (Ra), siendo Pf la probabilidad de falla en ese mismo tiempo a (Ramakumar, 1996).

$$Ra = 1 - Pf \quad \text{Ec. 3}$$

La curva de confiabilidad es la representación gráfica del funcionamiento después de transcurrido un tiempo (t) en un período (T) total. Se puede entender de dos maneras: la primera consiste en la representación de la probabilidad de confiabilidad o supervivencia que tiene un elemento, máquina o sistema después de transcurrido un determinado tiempo (t); la otra forma de interpretarla es cuando se están analizando varios o múltiples elementos (no reparables, normalmente) similares que tienen la misma distribución de vida útil, en este caso expresa el porcentaje de ellos que aún funcionan después de un tiempo.

La función de confiabilidad o de supervivencia se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$R(t) = P(t < T) \quad \text{Ec. 4}$$

Donde $R(t)$ es la función de confiabilidad o supervivencia, la cual decrece en la medida que se incrementa el tiempo, al igual $R(0) = 1$; o sea, que siempre la probabilidad de confiabilidad de cualquier elemento antes de iniciar su funcionamiento es máxima del cien por ciento (100%); (t) es el tiempo determinado para evaluar el funcionamiento, el Limite $\lim_{t \rightarrow \infty} R(t) = 0$, expresa que cualquier elemento o máquina siempre entra en estado de falla, aunque sea en un tiempo grande o infinito (Leemis, 1995).

La medida de la confiabilidad de un equipo es la frecuencia con la cual ocurren las fallas en el tiempo. Si no hay fallas, el equipo es 100 % confiable. Si la frecuencia de fallas es muy baja, la confiabilidad del equipo es aún aceptable; pero si la frecuencia de fallas es muy alta, el equipo es poco confiable.

Un equipo bien diseñado, perfectamente montado, correctamente probado y apropiadamente mantenido no debe, en teoría, fallar nunca; sin embargo, la experiencia ha demostrado que incluso los equipos mejor diseñados, montados y mantenidos fallan alguna vez (Bazovsky, 2004).

Yañez et al., (2010) sostienen, que para la estimación de la confiabilidad o la probabilidad de fallas, existen dos métodos que dependen del tipo de data disponible; estos son:

1. Estimación basada en datos de condición, es altamente recomendable para equipos estáticos, que presentan patrones de “baja frecuencia de fallas” y, por ende, no se tiene un “historial de fallas” que permita algún tipo de análisis estadístico.
2. Estimación basada en el historial de fallas: recomendable para equipos dinámicos, los cuales por su alta frecuencia de fallas, es normalmente permiten el almacenamiento de un historial de fallas que hace posible el análisis estadístico.

1.3.3. Estimación de la confiabilidad basada en la condición.

Un parámetro de condición (PC) es cualquier variable física que revele información acerca de las características de desempeño de un equipo o componente. Un Parámetro Relevante de Condición (PRC) es un parámetro cuyo valor numérico caracteriza y cuantifica la condición de un equipo o componente en cualquier instante de su vida operativa.

1.3.4. Predicción del número de fallas basado en el historial de fallas.

En este punto, se presenta la metodología y la plataforma matemática para predecir la disponibilidad en sistemas reparables, a través del tratamiento estadístico de su historial de fallas y reparaciones. En otras palabras, los equipos

son caracterizados usando su distribución probabilística del “tiempo para fallar” y el “tiempo para reparar”.

1.4. Análisis de modos de falla y sus efectos (FMEA).

1.4.1. Falla.

La falla es la ocurrencia no previsible, inherente al elemento de un equipo, que impide que este cumpla su misión para lo cual fue diseñado. También se define, como la aparición de deformación permanente, que modifica las dimensiones y propiedades mecánicas del componente o cuando ocurra una fractura (Suárez, 1999).

1.4.2. FMEA.

El análisis de modos y efectos de fallo (FMEA), se entiende como una metodología sistemática que se emplea para analizar problemas potenciales de confiabilidad durante el ciclo de vida de un componente, equipo o sistema. Este permite identificar modos de fallo potenciales y su efecto sobre la operación del sistema. Además, facilita la toma de decisiones, y permite anticiparse a las fallas para que puedan ser superadas rápidamente. Todo lo anteriormente planteado hace que esta metodología contribuya al aumento de la confiabilidad operacional (Unamuno, 2004).

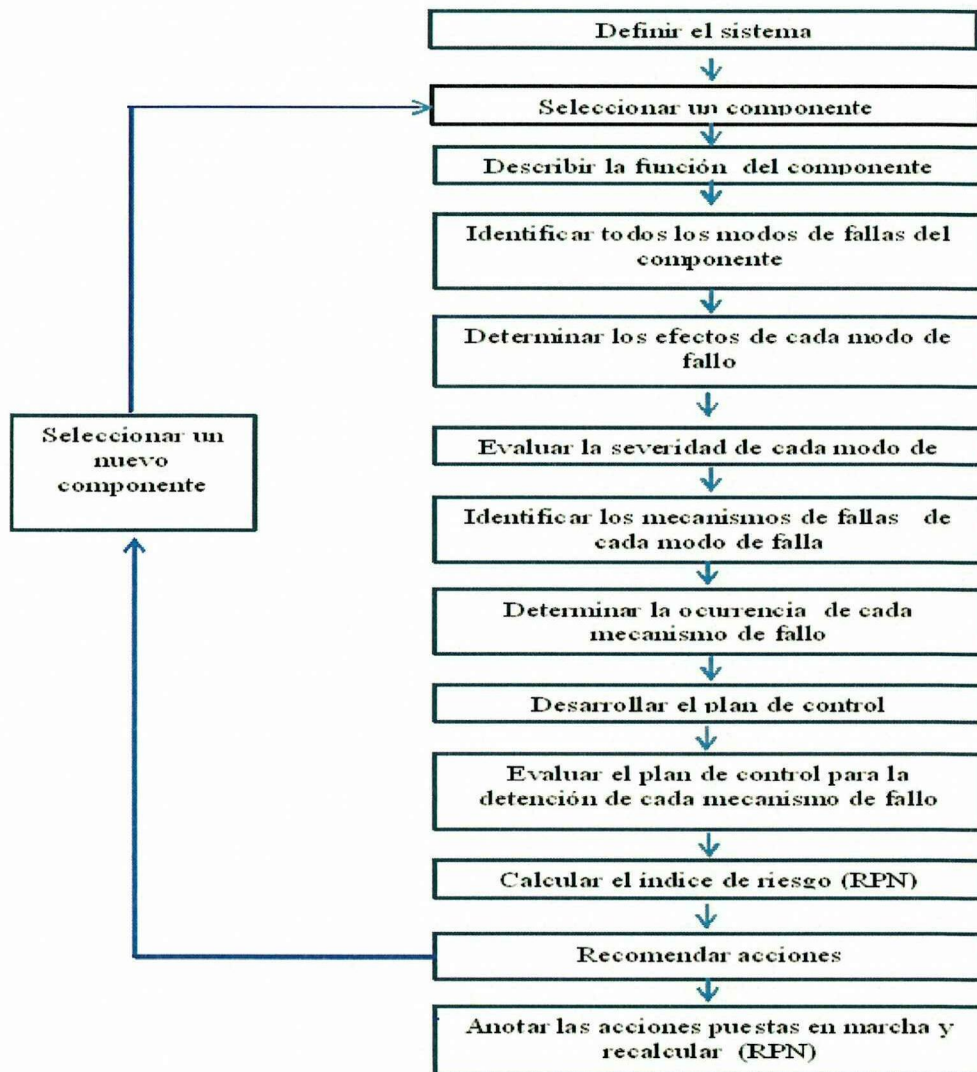


Figura 2. Diagrama de bloques para realizar el análisis de modos de fallas (FMEA) (Unamuno, 2004).

1.4.3. Diagrama de bloques.

1.4.3.1. Sistema en serie.

Un sistema en serie desde el punto de vista de confiabilidad, es aquel en el cual todos los componentes deben funcionar adecuadamente para que el sistema opere; es decir, si uno de los componentes falla, el sistema falla.



Figura 3. Sistema en serie.

Para un sistema en serie, su confiabilidad es operacional cuando n elementos son independientes. Se define por:

$$R_s = P [E_1 \cap E_2 \cap \dots \cap E_n] = P[E_1]P[E_2] \dots P[E_n] = R_1 R_2 \dots R_n \quad (\text{Ec. 5})$$

Donde $R_1 \dots R_n$ son las confiabilidades individuales de los componentes $1, \dots, n$

De manera general para n componentes independientes, la confiabilidad del sistema (Ec. 5) y la probabilidad de falla del sistema (Ec. 7) se determinan mediante:

$$R_s(t) = \prod_{i=1}^n R_i(t) \quad (\text{Ec. 6})$$

$$Q_s(t) = 1 - \prod_{i=1}^n R_i(t) \quad (\text{Ec. 7})$$

Para $R_s(t)$ se puede inferir que la confiabilidad conformada por (n) componentes individuales conectados en serie, siempre será menor que la confiabilidad del componente menos confiable.

1.4.3.2. Sistema en paralelo.

Un sistema paralelo desde el punto de vista de confiabilidad, es aquel en el cual el funcionamiento adecuado de cualquiera de sus (n) componentes, e implica la operación del sistema.

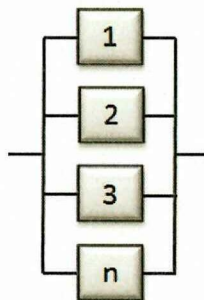


Figura 4. Sistema en paralelo

Cabe anotar que en esta configuración, para que el sistema falle, deben fallar todos los (n) componentes.

$$Q_s = P[\bar{E}_1 \cap \bar{E}_2 \cap \dots \cap \bar{E}_n] = P[\bar{E}_1]P[\bar{E}_2] \dots P[\bar{E}_n] = Q_1 Q_2 \dots Q_n \quad (\text{Ec. 8})$$

Donde:

Q_n : Son las probabilidades de falla individuales de los componentes n - ésimos, generalmente son funciones del tiempo.

De manera general para un sistema de n componentes no reparables en paralelo se tiene que:

$$Q_p(t) = \prod_{i=1}^n Q_i(t) \quad (\text{Ec. 9})$$

$$R_p(t) = 1 - \prod_{i=1}^n Q_i(t) \quad (\text{Ec. 10})$$

$$R_p(t) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i(t)) \quad (\text{Ec. 11})$$

Para $R_p(t)$ se concluye, que la confiabilidad para un sistema en paralelo con (n) elementos independientes, crece con el aumento de los subconjuntos bajo estudio (Nachlas, 1995).

1.5. Mantenimiento centrado en confiabilidad.

1.5.1. Definición del RCM (Reliability Centered Maintenance).

El mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) es un proceso desarrollado durante los años 1960 y 1970. Tuvo su origen en la industria aeronáutica, y consiste en analizar cada sistema y cómo puede fallar funcionalmente teniendo en cuenta su entorno; es decir, las características del medio en el cual trabaja, los efectos de cada falla son clasificados y se valora el impacto para llegar a seleccionar la tarea más apropiada.

El mantenimiento centrado en confiabilidad es un proceso utilizado para determinar que se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúe



haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional actual (Moubray, 2004; Wikipedia., 2013b).

La filosofía del RCM se fundamenta en:

1. La evaluación de los componentes de los equipos, su estado y su función.
2. La identificación de los componentes críticos.
3. La aplicación de las técnicas de mantenimiento proactivo y predictivo.
4. El chequeo en sitio y en operación del estado corpóreo y funcional de los elementos mediante permanente revisión y análisis.

El mantenimiento centrado en confiabilidad es una filosofía de gestión del mantenimiento, que sirve de guía para identificar las actividades de mantenimiento con sus respectivas frecuencias a los activos más importantes de un contexto operacional (Pinzón, 2011).

Esta no es una fórmula matemática, y su éxito se apoya principalmente en el análisis funcional de las fallas de un determinado contexto operacional realizado por un equipo de trabajo multidisciplinario, el cual desarrolla un sistema de gestión de mantenimiento flexible que se adapta a las necesidades reales de mantenimiento de la organización, tomando en cuenta la seguridad personal, el ambiente, las operaciones y la razón de costo-beneficio (Jones, 1995).

El RCM es una técnica de organización de las actividades y de la gestión del mantenimiento para desarrollar programas organizados que se basan en la confiabilidad de los equipos en función del diseño y de la construcción de los mismos. El RCM asegura un programa efectivo de mantenimiento que se centra en que la confiabilidad original inherente al equipo se mantenga (Marks, 1997).

1.5.2. Objetivos y beneficios del RCM.

1. Extender el tiempo entre paradas.
2. Disminuir el número de paradas.
3. Identificar acciones que eviten el mantenimiento reactivo.
4. Enfatizar tareas de monitoreo por condición.
5. Eliminar tareas de mantenimiento innecesarias y no costo-efectivas.
6. Evitar incidentes ambientales.

7. Mejora el mantenimiento de los equipos y las estrategias para prevenir las fallas.
8. Ofrece rendimientos operativos superiores.
9. Evita revisiones innecesarias, intervalos más largos de mantenimiento.
10. Menos fallas causados por mantenimientos innecesarios.
11. Más larga vida útil de los equipos, debido al aumento de uso de las técnicas de mantenimiento basado en la condición.
12. Mayor motivación del personal, especialmente los que interviene directamente en la implementación de RCM.

1.5.3. Pasos del RCM.

En la figura 5 que se muestra a continuación se describen los pasos de RCM.



Figura 5. Pasos del mantenimiento centrado en confiabilidad (Pinzón, 2011).

1.5.4. Funciones y parámetros de funcionamiento.

Las funciones y parámetros de funcionamiento RCM comienzan definiendo las funciones y los estándares del comportamiento en su contexto operacional. Se debe enunciar la función con un verbo y definir los límites del sistema, es decir, definir las entradas y las salidas (Pinzón, 2011).

1.5.5. Fallas funcionales.

Se debe identificar como puede fallar cada elemento en la realización de sus funciones. Una falla funcional se define como la incapacidad de cualquier activo físico de cumplir una función según un parámetro de funcionamiento aceptable para el usuario.

1.5.6. Modos de falla.

Es una posible causa por la cual un equipo puede llegar a un estado de falla.

Según Tavares (2003), las razones por las cuales ocurren las fallas, pueden ser:

1. La falla por diseño.
2. El defecto en los materiales.
3. El error del proceso.
4. El ensamble o defecto en la instalación.
5. La deficiencia en el mantenimiento.
6. Las operaciones inapropiadas.

Los modelos de falla se muestran a continuación en la Figura 6.

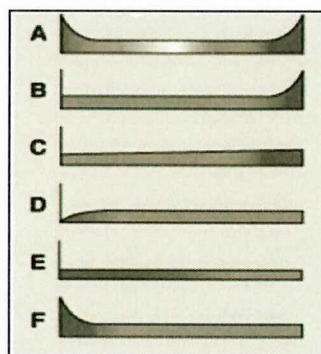


Figura 6. Modelos de falla (Pinzón 2011).

Modelo A: es conocido como curva de la bañera, comienza con mortalidad infantil, seguida de una frecuencia de falla que aumenta gradualmente o es constante para terminar con una zona de desgaste.

Modelo B: muestra una probabilidad de falla constante o ligeramente ascendente y termina con una zona de desgaste.

Modelo C: Comienza con una probabilidad de falla ligeramente ascendente y termina con una zona de desgaste identificable.

Modelo D: muestra una probabilidad de falla baja cuando el equipo es nuevo y termina con un desgaste rápido.

Modelo E: muestra una probabilidad aleatoria a lo largo de su vida útil.

Modelo F: comienza con una mortalidad infantil alta pero desciende y tiene un comportamiento aleatorio de falla.

1.6. Indicadores de la confiabilidad operacional.

Los indicadores de mantenimiento y los sistemas de planificación empresarial asociados al área de efectividad permiten evaluar el comportamiento operacional de las instalaciones, sistemas, equipos, dispositivos y componentes de esta manera será posible implementar un plan de mantenimiento orientado a perfeccionar la labor de mantenimiento (Amendola, 2010).

Estos indicadores son:

1. Tiempo promedio para fallar (TPPF) – mean time to fail (MTTF).
2. Tiempo promedio para reparar (TPPR) – mean time to repair (MTTR).
3. Disponibilidad.
4. Utilización.
5. Confiabilidad.
6. Tiempo promedio entre fallos (TMEF) – mean time between failures (MTBF).

1.6.1. Tiempo promedio para fallar (TPPF) – mean time to fail (MTTF).

Este indicador mide el tiempo promedio que es capaz de operar el equipo a capacidad sin interrupciones dentro del período considerado; este constituye un indicador indirecto de la confiabilidad del equipo o sistema. El tiempo promedio para fallar también es llamado “tiempo promedio operativo” o “tiempo promedio hasta la falla”(Amendola, 2010).

Regularmente se emplean indistintamente para los análisis de confiabilidad el MTTF o MTBF, ya que representa un tiempo medio de operatividad del equipo. Pero la aplicación del MTTF como término, es usualmente empleado para representar estadísticamente el instante en que se producirá el fallo una vez que ha sido puesto el equipo en servicio (Ver expresión matemática).

$$TPPF = \frac{\text{Tiempo de operación}}{\text{Nº de fallos}} \quad (\text{Ec. 12})$$

1.6.2. Tiempo promedio para reparar (TPPR) – mean time to repair (MTTR).

Es la medida de la distribución del tiempo de reparación de un equipo o sistema. Este indicador mide la efectividad en restituir la unidad a condiciones

óptimas de operación una vez que la unidad se encuentra fuera de servicio por un fallo, dentro de un período de tiempo determinado. El tiempo promedio para reparar es un parámetro de medición asociado a la mantenibilidad, es decir, a la ejecución del mantenimiento (Amendola, 2010).

$$TPPR = \frac{\text{Tiempo de reparación}}{\text{N}^\circ \text{ de fallos}} \quad (\text{Ec. 13})$$

La mantenibilidad, definida como la probabilidad de devolver el equipo a condiciones operativas en un cierto tiempo utilizando procedimientos prescritos, es una función del diseño del equipo (factores tales como accesibilidad, modularidad, estandarización y facilidades de diagnóstico, facilitan enormemente el mantenimiento). Para un diseño dado, si las reparaciones se realizan con personal calificado y con herramientas, documentación y procedimientos prescritos, el tiempo de reparación depende de la naturaleza del fallo y de las mencionadas características de diseño (Amendola, 2010).

1.6.3. Disponibilidad (DISP).

La disponibilidad es una función que permite estimar en forma global el porcentaje de tiempo total en que se puede esperar que un equipo esté disponible para cumplir la función para la cual fue destinado. A través del estudio de los factores que influyen sobre la disponibilidad, el TPPF y el TPPR, es posible para la gerencia evaluar distintas alternativas de acción para lograr los aumentos necesarios de disponibilidad (Amendola, 2010).

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{TPPF}}{\text{TPPF} + \text{TPPR}} \times 100 \quad (\text{Ec. 14})$$

1.6.4. Utilización.

La utilización también llamada factor de servicio, mide el tiempo efectivo de operación de un activo durante un período determinado.

1.6.5. Confiabilidad.

El estudio de confiabilidad es el estudio de fallos de un equipo o componente. Si se tiene un equipo sin fallo, se dice que el equipo es ciento por ciento confiable

o que tiene una probabilidad de supervivencia igual a uno. Al realizar un análisis de confiabilidad a un equipo o sistema, obtenemos información valiosa acerca de la condición tales como: probabilidad de fallo, el tiempo promedio para fallo, y la etapa de la vida en que se encuentra el equipo (Gómez, 2003; Amendola, 2010).

La expresión de la confiabilidad que sigue una distribución exponencial, y se expresa por.

$$\text{Confiabilidad} = e^{-\frac{t}{\text{TPPF}}} \quad \text{Ec. 15}$$

1.6.5.1. Confiabilidad de sistemas y componentes.

La confiabilidad de un sistema y sus componentes es de suma importancia si queremos conocer la confiabilidad de los activos. Los datos suministrados por los indicadores de confiabilidad determina la distribución de fallos para una o más combinaciones de esfuerzos y ambientes. Uno de los factores a considerar para predecir la confiabilidad de componentes es la tasa de fallo, el nivel operativo del equipo, el número de ciclos conectados y desconectados, el número de horas de funcionamiento, y la naturaleza y distribución del fallo. Otros aspectos a tomar en cuenta en la configuración de los sistemas son el tipo y grado de redundancia, la naturaleza y la frecuencia de las acciones de mantenimiento, y los modos de fallos de los componentes sobre los sistemas.

Existen diferentes procedimientos para obtener una predicción del sistema y sus componentes, tales como: los modelos matemáticos, las técnicas de simulación, y la determinación de valores límites. La tecnología de monitoreo por condiciones realiza un análisis lógico que relaciona los fallos de los componentes con los fallos del sistema. Si se utilizara un conjunto de bloques, en el que cada bloque representaría un componente o una combinación de componentes que realiza una función, cada bloque tendría posibles estados mutuamente excluyentes (satisfactorio y fallado) (Amendola, 2010). La función representada por cualquier bloque es necesaria para el funcionamiento del sistema. No obstante, el fallo de un bloque no implica fallo del sistema si otro bloque realiza la misma función, conteniendo el modelo todas las funciones críticas para el sistema.



1.6.6. Tiempo promedio entre fallos (TMEF) – mean time between failures (MTBF).

El tiempo promedio entre fallos indica el intervalo de tiempo más probable entre un arranque y la aparición de un fallo; es decir, es el tiempo medio transcurrido hasta la llegada del evento “fallo”. Mientras mayor sea su valor, mayor es la confiabilidad del componente o equipo. Uno de los parámetros más importantes utilizados en el estudio de la confiabilidad constituye el MTBF, es por esta razón que debe ser tomado como un indicador más que represente de alguna manera el comportamiento de un equipo específico. Asimismo, para determinar el valor de este indicador se deberá utilizar la data primaria histórica almacenada en los sistemas de información (Amendola, 2010).

$$TPEF = \frac{NOIT \cdot HROP}{NTMC} \quad (\text{Ec. 16})$$

Donde:

NOIT: Numero de ítems.

HROP: Horas de operación.

NTMC: Número total de fallas.

El análisis de fallos es el paso más importante en la determinación de un programa de mantenimiento óptimo, y éste depende del conocimiento del índice de fallos de un equipo en cualquier momento de su vida útil.

El estudio de la confiabilidad se utiliza en el análisis de los datos operativos para el mantenimiento. Es posible conocer el comportamiento de los equipos en operación con el fin de:

1. Prever y optimizar el uso de los recursos humanos y materiales necesarios para el mantenimiento.
2. Diseñar y/o modificar las políticas de mantenimiento a ser utilizadas.
3. Calcular instantes óptimos de sustitución económica de equipos.
4. Establecer frecuencias óptimas de ejecución del mantenimiento preventivo.

1.7. Generación distribuida en Cuba y Latinoamérica.

1.7.1. Breve historia.

La generación distribuida es una técnica conocida por la humanidad desde finales del siglo XIX. Se inicia con plantas que enviaban a la atmósfera el calor residual. Edison construyó la primera planta en CHP en 1886 cerca de Manhattan y envió el vapor de escape a los edificios cercanos.

En el caso cubano la electrificación se introduce en 1889 en las ciudades de Cárdenas y la Habana. Se puede considerar, que la GD se inicia en la primera mitad del siglo XX por la industria azucarera cuando se hacen evidentes las ventajas de las máquinas y los accionamientos eléctricos frente a los tradicionales de vapor.

En esa época las redes eléctricas no tenían la potencia, la disseminación y la estabilidad suficiente para asimilar las cargas de esta industria. Así, desde los años 1930, se instalan plantas de generación propia para servicios de alumbrado y fuerza en los centrales más avanzados. Estos sistemas pretendían lograr el abastecimiento total energético desde perspectivas de sistemas aislados (Cuba, 2006).

1.7.2. Concepto.

Según la definición del Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (Institute of Electrical and Electronic Engineers, IEEE), la cual es una de las más conocidas, la generación distribuida, es la generación de electricidad mediante las instalaciones que son suficientemente pequeñas en relación con las grandes centrales de generación, de forma que se puedan conectar casi en cualquier punto de un sistema eléctrico (Revista, 2010).

Teniendo en cuenta el concepto de algunos autores, la generación distribuida se podría resumir como:

- La Generación a pequeña escala instalada cerca del lugar de consumo.
- La producción de electricidad con instalaciones suficientemente pequeñas en relación con las grandes centrales de generación, de forma que se puedan conectar casi en cualquier punto de un sistema eléctrico.

- La generación conectada directamente a las redes de distribución.
- La generación de energía eléctrica mediante instalaciones mucho más pequeñas que las centrales convencionales y situadas en las proximidades de las cargas.
- Los sistemas de generación eléctrica o de almacenamiento, situados dentro o cerca de los centros de carga.

1.7.3. Beneficios de la generación distribuida para el usuario.

1. Incremento de la confiabilidad.
2. Aumento de la calidad de la energía.
3. Reducción del número de interrupciones.
4. Uso eficiente de la energía.
5. Menor costo de la energía.
6. Uso de energías renovables.
7. Facilidad de adaptación a las condiciones del sitio.
8. Disminución de emisiones contaminantes.

1.7.4. Beneficios de la generación distribuida para el suministrador.

1. Reducción de pérdidas en transmisión y distribución.
2. Abasto en zonas remotas.
3. Libera capacidad del sistema.
4. Proporciona mayor control de energía reactiva.
5. Mayor regulación de tensión.
6. Disminución de inversión.
7. Menor saturación.
8. Reducción del índice de fallas.

1.7.5. La generación distribuida en otros países.

De acuerdo con datos de la CIGRE (International Council on Large Electric Systems), en diversos países del mundo, se ha incrementado el porcentaje de la potencia instalada de GD, en relación con la capacidad total instalada. Así, la GD se ha convertido una realidad en muchos países como EEUU, Canadá, Colombia, Chile, Reino Unido, Alemania, Suecia y Portugal que cuentan, en la actualidad,



con regulaciones específicas. Un ejemplo claro es la situación en Portugal, que ha establecido recientemente una legislación específica para la micro producción (Cetenma., 2012).

1.7.6. Los grupos electrógenos en Cuba.

La máxima dirección del gobierno cubano ha decidido para los próximos años utilizar de forma intensiva los grupos electrógenos considerando las ventajas que hoy plantea este tipo de generación distribuida.

En la red eléctrica, los grupos electrógenos han sido utilizados, por lo general, para compensar las interrupciones de energía de las redes de distribución, donde la falta de esta puede causar daños importantes o donde la red eléctrica no está disponible, es insuficiente o no es rentable (lugares muy apartados o de difícil acceso donde llevar la electricidad de forma tradicional no es económico por las grandes distancias; por ejemplo: islas o pequeños asentamientos en zonas intrincadas) (Figura 7).

Más del 50% de la capacidad de generación eléctrica en Cuba está basada en plantas generadoras distribuidas de pequeña escala. Este es uno de los más altos índices a nivel mundial. Estas plantas generan en base a diesel y fuel oil. El país progresa en su objetivo de desarrollar un nuevo paradigma energético. Hoy día, el país trabaja en la aplicación de proyectos de tecnologías energéticas renovables a escala nacional.

La mayoría de las nuevas instalaciones de GD en el país son generadores y motores que consumen combustibles fósiles (diesel y fuel oil), así como pequeños generadores de emergencia ubicados en centros de elaboración de alimentos, hospitales, objetivos estratégicos.



Figura 7. Grupos electrógenos en Bayamo, Cuba.

La provincia Granma consta con moderada cantidad de equipos. Los cuales están repartidos en distintos municipios. Esta cuenta con tres centrales diesel, tres emplazamientos aislados y dos centrales fuel oil. En el municipio de Bayamo existen 16 máquinas, en Manzanillo 16 máquinas y en Niquero 8 máquinas, con motores de Mercedes-Benz de 1,8 MW. El combustible de consumo es el diesel, en dichos equipos son de fabricación Alemana.

En otros municipios tales como: Santa Rita, San Ramón y Las Mercedes donde en cada municipio cuenta con dos máquinas con motores de Mercedes-Benz de 980 kW de potencia, el combustible de consumo por estas es el diesel, también de procedencia Alemana, y estos generadores pueden ser conectados al SEN.

La provincia Granma también consta con dos centrales de fuel oil: una en Bayamo con 16 máquinas y otra en Niquero con 8 máquinas; las cuáles usan como combustible el fuel oil, y se encienden y se apagan con combustible diesel. Estos sistemas trabajan con motores HYUNDAI de 1,6 MW fabricados en Korea del Sur.

1.8. Confiabilidad y costos de operación.

1.8.1. Modelos para costo de confiabilidad.

Existen dos fuentes principales que generan costos para la confiabilidad. La primera, y fundamental, son los costos de consecuencias de los fallos y de los

defectos crónicos tolerados. Como segunda fuente, en contraposición, se encuentran todas aquellas acciones preventivas y de evaluación que se realiza para contrarrestar a las primeras y mantener determinados valores de confiabilidad (Sexto, 2005).

Singular importancia reviste la prevención de fallos como secuelas inadmisibles, al aplicar un mejoramiento de la eficacia del mantenimiento, reflejado, por un lado, en un incremento de la confiabilidad operativa.

Por otra parte, supone una mejora de la eficiencia del proceso de mantenimiento que se refleja en una reducción de costos por fallos y defectos crónicos. En la figura 8 se representa una relación de conceptos y acciones de mantenimiento que demuestran como la prevención de fallos, y sus correspondientes consecuencias, desembocan en incrementos de la disponibilidad, mantenibilidad y de confiabilidad de contextos.

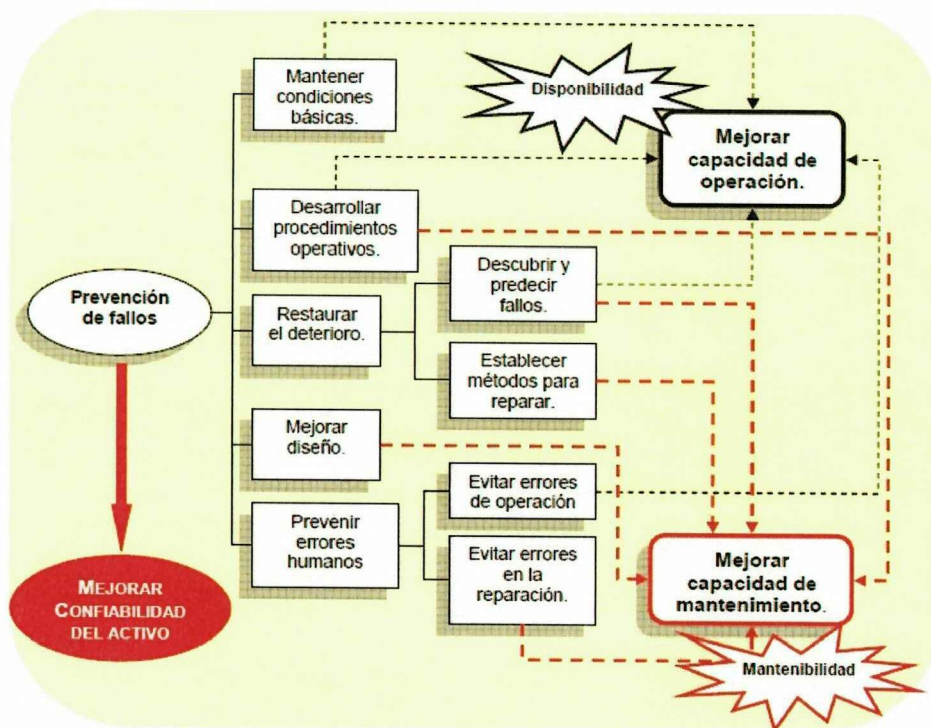


Figura 8. Relación dialéctica entre confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad (Sexto, 2005).

Para intentar que el lector se haga una idea más clara de cómo es la interacción entre los costos de la confiabilidad, considerando las dos fuentes principales

descritas, se propone el análisis del gráfico de la figura 9. En este caso se considera las siguientes premisas para interpretar el modelo:

1. Los costos totales de confiabilidad son más elevados para sectores industriales complejos.
2. Los costos por fallos y defectos crónicos tolerados son el mayor porcentaje del total de costos.
3. Los costos de prevención y evaluación de las consecuencias de fallos y defectos crónicos son un porcentaje reducido del total de costos relacionados con la confiabilidad.

Independientemente de los supuestos anteriores y de la representación del modelo de curvas características de la figura 9, cada organización debe cuantificar sus reales costos y obtener las respectivas curvas de identidad que son particulares para cada empresa.

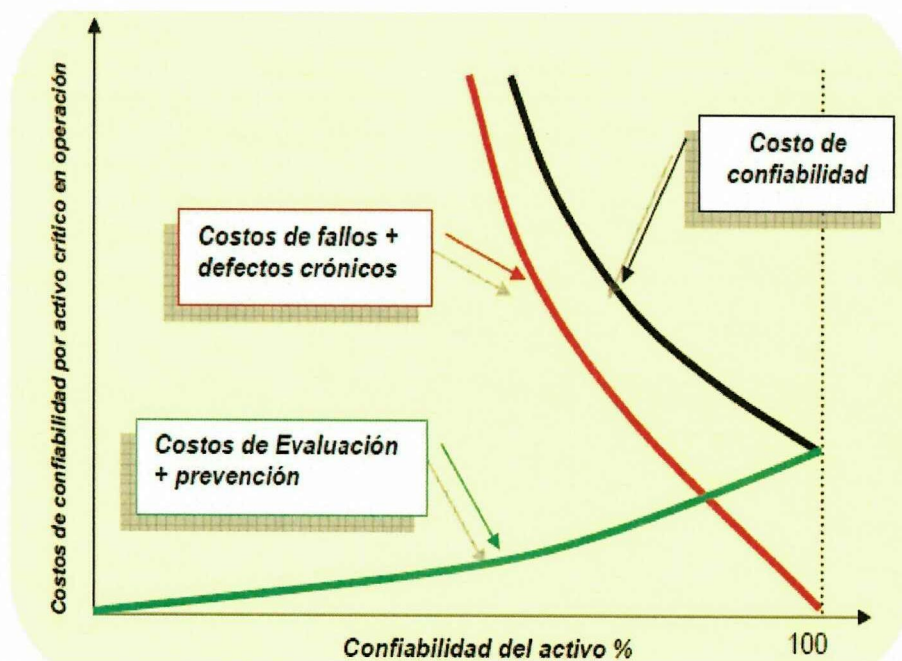


Figura 9. Costos de la confiabilidad (Sexto, 2005).

Para análisis del gráfico se debe considerar que:

1. Los costos de fallos y defectos crónicos son iguales a cero, cuando el activo es 100% confiable. Se elevan hacia el “infinito” cuando el activo es 100% no confiable.

2. Los costos de evaluación más prevención son iguales a cero cuando hay un 100% de defectos, y se elevan en la medida que hay un acercamiento a la perfección.
3. La suma de las dos curvas anteriores es la del costo total de alcanzar la confiabilidad en el contexto (en condiciones reales de operación) en activos trabajando para satisfacer críticas.

1.9. Los grupos electrógenos y su impacto ambiental.

La importación de grupos electrógenos de diesel y fuel oil han traído consigo una mejora sustancial en el sistema electroenergético nacional no obstante generan importantes impactos ambientales y de salud a la población.

Los grupos electrógenos que funcionan con fuel oil son motores de combustión interna (MCI) que durante su funcionamiento desprenden sustancias tóxicas tales como los óxidos de nitrógeno (N_xO_y), el hollín, el monóxido de carbono (CO), los hidrocarburos, los compuestos de azufre y el plomo (Pb).

Más de 80% de la totalidad de la energía producida en el mundo corresponde a motores de combustión interna (MCI). Según expertos, estos equipos interactúan sobre el medio ambiente de diversas formas: agotamiento de materias primas no renovables consumidas durante su funcionamiento; consumo de oxígeno que contiene el aire atmosférico; desprenden gases tóxicos que perjudican al hombre, la flora y la fauna; exposición de sustancias que provocan el llamado efecto invernadero y contribuyen a la elevación de la temperatura del planeta; además de emitir altos niveles de ruido, que ocasionan molestias a los núcleos poblacionales ubicados en su cercanía.

El dióxido de nitrógeno (NO_2) refieren que este compuesto forma parte de un grupo de contaminantes gaseosos producidos por el tráfico y otros procesos de quema de combustibles fósiles. Su presencia en el aire contribuye a la formación y modificación de otros contaminantes, como el ozono y las partículas en suspensión, así como a la aparición de la lluvia ácida.

Investigaciones internacionales realizadas en poblaciones humanas indican que la exposición a largo plazo del dióxido de nitrógeno, puede provocar una disminución de la función pulmonar y aumentar el riesgo de aparición de síntomas



respiratorios como bronquitis aguda, tos y flema, especialmente en los niños. También se ha demostrado que la exposición a este compuesto aumenta la respuesta alérgica al polen inhalado.

1.9.1. Impactos ambientales de los grupos electrógenos.

De forma general los impactos ambientales de estos motores de combustión interna se pueden resumir en tres grandes grupos (Wikipedia., 2013c), los cuáles se describen a continuación:

Grupo I

Contaminación por petróleo y sus derivados a las aguas superficiales y subterráneas.

Estos equipos vienen conectados a tanques para la alimentación de combustible. Estos tienen que cumplir un conjunto de requisitos para evitar posibles derrames de hidrocarburos, en este sentido se recomiendan que se localicen dentro de un cubeto que estará adecuadamente impermeabilizado tanto sus paredes como el fondo para evitar infiltraciones en el manto freático (Wikipedia., 2013a).

Grupo II

Generación de altos niveles de Ruido.

De forma general los grupos electrógenos de emergencia que utilizan como combustibles del diesel no generan valores exorbitantes de ruido, aunque se han presentados excepciones dadas por la cercanías a viviendas, la mayoría de estos grupos son insonorizados y gran parte de ellos viene encapsulados, no obstante los grupos que funcionan con fuel oil generan valores tolerables de ruido que sobre pasa los 85 decibeles, generando un número importante de quejas de la población por ruido (Wikipedia., 2013a).

Grupo III

Emanaciones gaseosas a la atmósfera.

La altura mínimas de las chimeneas (tuberías de escape) deben estar a una altura de 2.5 metros (Torres, 2012; Wikipedia, 2013).

Capítulo II. Materiales y métodos.

2.1. Ubicación geográfica y caracterización de la central eléctrica de generación distribuida de Bayamo, en la provincia de Granma.

La central eléctrica de generación distribuida de 110 kV perteneciente a la Empresa Eléctrica Granma (OBE), posee 16 grupos electrógenos que funcionan con fuel oil. La misma que se encuentra ubicada en el municipio de Bayamo en la carretera vía a Santiago de Cuba km 4½. Colinda por el norte con la central eléctrica diesel y la subestación eléctrica, y por el sur con la empresa GEYSEL.

Esta empresa tiene la misión ejercer la dirección técnica de la generación distribuida, así como de su uso racional, de tal forma que se logren altos niveles de satisfacción en el pueblo, y se cumplan cabalmente las directivas e indicaciones de los órganos superiores.

2.2. Grupos electrógenos HYUNDAI de 1,7 MW.

Un grupo electrógeno no es más que un conjunto agregado, integrado por un motor de combustión interna que mueve un alternador que genera la energía eléctrica (Quintela *et al.*, 2013). Su aplicación fundamental es la de producir electricidad de manera independiente en aquellos lugares donde existe déficit o ausencia del suministro eléctrico por la red de distribución centralizada.

Son de gran utilidad en las zonas agrícolas con pocas infraestructuras o en viviendas aisladas, así como en determinadas entidades, que por su objeto social, son imprescindibles para mantener la prestación de servicios de alta demanda; dentro de estas entidades se pueden citar los hospitales, las fábricas de medicamentos, los centros de elaboración de alimentos, entre otros.

Las figuras 10 y 11 muestran las imágenes del grupo electrógeno HYUNDAI de 1,7 MW de potencia generada y el motor 9H21/32, respectivamente, instalados en la central eléctrica de generación distribuida de Bayamo, en la provincia de Granma.



Figura 10. Grupo electrógeno HYUNDAI 1.7 MW con motor 9H21/32 de 210 kW
(Cortesía de HYUNDAI HEAVY INDUSTRIES CO., LTD.).

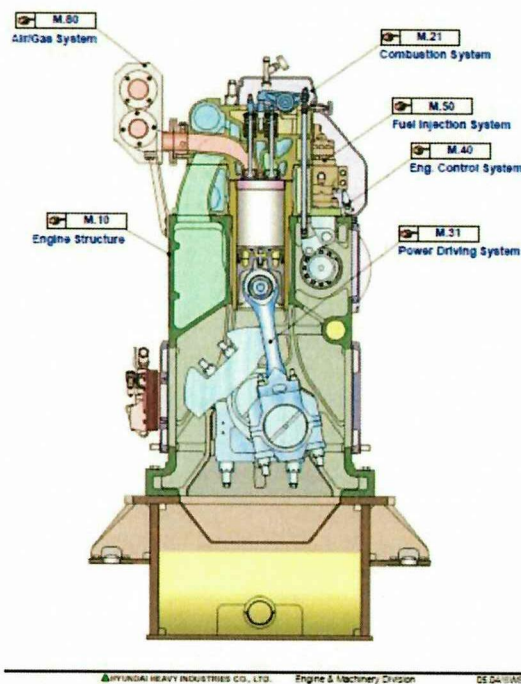


Figura 11. Vista en corte del motor 9H21/32 de 210 kW (Cortesía de HYUNDAI HEAVY INDUSTRIES CO., LTD.).

2.2.1. Partes fundamentales que componen los grupos electrógenos HYUNDAI de 1,7 MW.

- *Motor de combustión interna.* El motor que acciona el grupo electrógeno suele estar diseñado específicamente para ejecutar dicha labor. Su potencia depende de las características del generador. Pueden ser motores de gasolina, diesel, gas, fuel oil, o de ciclo combinado.
- *Sistema de refrigeración.* El sistema de refrigeración es el encargado de mantener la temperatura adecuada del motor y el generador. Por tratarse de un motor estático, éste puede ser refrigerado por medio de agua, aceite o aire a tiro forzado.
- *Generador.* La energía eléctrica se produce utilizando un generador apantallado, protegido contra salpicaduras, auto excitado, auto regulado, sin escobillas y acoplado con precisión al motor. El tamaño y la potencia del mismo varía en dependencia de la función a realizar para el cual se utiliza el grupo electrógeno.
- *Depósito de combustible y bancada.* El motor y el generador están acoplados y montados sobre una bancada de acero. La bancada incluye un depósito de combustible con una capacidad que varía en dependencia de su régimen de explotación diseñado por el fabricante, el mismo se rellena automáticamente mediante una bomba que succiona de los depósitos de almacenamiento de combustible.
- *Sistema de control.* Se puede instalar algunos de los diferentes tipos de paneles y sistemas de control para controlar el funcionamiento, la sincronización, y la salida del grupo electrógeno del sistema eléctrico. Al subir y bajar las cargas, el sistema de control permite la protección contra los posibles fallos en el funcionamiento, las sobrecargas y las fallas en los sistemas eléctricos, las cuales pueden dañar el generador, si no está bien protegido.
- *Interruptor automático de salida.* Para proteger el generador, los grupos electrógenos llevan instalado un interruptor automático de salida adecuado para el modelo y régimen de salida. Existen otros dispositivos que ayudan



a controlar y mantener de forma automática el correcto funcionamiento del mismo.

- *Regulación del motor.* El regulador del motor es un dispositivo mecánico diseñado para mantener una velocidad constante del motor con relación a los requisitos de carga. La velocidad del motor está directamente relacionada con la frecuencia de salida del generador, por lo que cualquier variación de la velocidad del motor afectará a la frecuencia de la potencia de salida.

2.2.2. Principales características técnicas del motor 9H21/32.

En el grupo electrógeno HYUNDAI se instala un motor modelo 9H21/32, de 4 tiempos con disposición vertical de los cilindros, inyección directa, con sobrealimentación por el turbocompresor, y con un intercambiador de calor instalado. En la tabla 1 se refieren las principales características técnicas de este motor.

Tabla 1. Características técnicas del motor modelo 9H21/32.

Características técnicas	UM	Valor
Cantidad de cilindros	U	9
Disposición de los cilindros	Verticales en línea	
Frecuencia de rotación	r min ⁻¹ .	900
Diámetros de los cilindros	mm	210
Potencia por cilindro	kW	200
Diámetro de los cilindros	mm	210
Carrera de los pistones	mm	320
Relación de compresión	-	17:1
Volumen desplazado por el cilindro	dm ³	9,6
Velocidad media del cilindro	m s ⁻¹	10,7
Presión media efectiva	Kg cm ⁻²	24,1
Orden de encendido de los cilindros	1 – 3 – 5 – 7 – 9 – 8 – 6 – 4 – 2	

2.3. Control y criterios de fallas.

2.3.1. Control.

Se recopiló toda la información de las fallas mediante el registro operativo de las fallas y por el libro de control de fallas que lleva la empresa. En el mismo se tuvieron en cuenta lo siguientes aspectos:

- Identificar las averías y fallos repetitivos, clasificarlos por tipo de equipo o sistema.
- Identificar las causas de los fallos.
- Recoger otra información: costo de reparación, TPDF, TPPR, entre otras.
- Identificar acciones correctivas utilizadas en el pasado.

2.3.2. Criterios de fallas: características o conjunto de características de incapacidad de trabajo establecida en la documentación técnica.

Con el fin de definir la gravedad de la falla, se ha tenido en cuenta los indicadores de gravedad referidos por Garrido (1994). Estos recogen principalmente la experiencia especializada obtenida en el análisis, el tratamiento y las consecuencias de las fallas, que típicamente afectan los esquemas de control y protección. No obstante, es conveniente insistir en que los criterios de clasificación son puramente relativos y tienen como función principal establecer bases comparativas para análisis. Los niveles de gravedad definidos se exponen a continuación:

Fallas muy graves: Agrupa las fallas según tres aspectos fundamentales.

a) Las fallas que interrumpen el suministro o que obligan a reconfigurar el sistema eléctrico con el fin de dar suministro al área afectada por la falla. Para estos efectos, las líneas de transmisión de doble circuito en el anillo se consideran radiales.

b) Las fallas que por su naturaleza requieren de un largo tiempo de corrección o de un compromiso de más de un área de mantenimiento en su reparación. En general se trata de las fallas de alto costo que afectan las interrupciones de poder, los transformadores, entre otras partes.

c) Las fallas que inhabilitan el sistema de apertura automática de los interruptores. Se incluyen en este concepto la falta de coordinación y el inadecuado desempeño de las protecciones provocan una apertura indeseada de los interruptores, independiente del nivel de tensión en que ocurran.

Fallas graves: Considera los siguientes aspectos.

a) Las fallas que, de acuerdo a la experiencia, pueden evolucionar hasta un estado de gravedad superior. En general, son fallas que afectan a los sistemas de control y protección de los interruptores, y a los niveles de tensión de la transmisión.

b) Las fallas que comprometen el cumplimiento de los contratos de suministro.

c) Las fallas que, desde el punto de vista de la intervención, requieren de maniobras de riesgo para su diagnóstico y corrección, cuando se trabaja con equipos en servicio.

Fallas menos graves: Se consideran aquellas fallas que no amenazan la operación segura del sistema eléctrico. En general, se consideran las fallas en los equipos de control o de medida local, y en los niveles de tensión de la distribución.

Fallas menores: Agrupan las fallas sin importancia para la operación segura del sistema eléctrico, tales como la señalización o la alarma local en las subestaciones con control SCADA. También se consideran las fallas en los componentes auxiliares de los equipos de poder, entre otras.

Fallas sin relevancia: Bajo esta categoría se agrupan las fallas que no pueden ser aplicadas en ninguna de las categorías anteriores.

2.4. Diseño experimental.

Los resultados de los análisis y los gráficos fueron obtenidos a partir de los programas informáticos MICROSOFT Office Professional Plus 2010 y STATGRAPHICS Centurión XV (Trial versión 15.2.06, StatPoint Inc., USA). Para un mejor estudio de los datos, el análisis estadístico fue evaluado por dos métodos: la estadística descriptiva y la regresión lineal múltiple. A continuación se hace una breve descripción de cada método.



2.4.1. Estadística descriptiva.

Los resultados de los experimentos fueron evaluados con varias estadísticas descriptivas tales como: el valor medio (X), la desviación estándar (S), el coeficiente de variación (CV), y los valores mínimos y máximos.

Un diagrama muy útil utilizado fue el de cajas y bigotes (Figura 12). En dicho diagrama, los valores mínimos y máximos, los cuartiles inferiores y superiores (percentiles 25 y 75%, respectivamente), la mediana (percentil 50%) y el valor medio; se representan en una caja rectangular alineada ya sea horizontal o verticalmente. La caja se extiende del cuartil inferior al superior, y es atravesada por la mediana y la media. A partir de los extremos de la caja se extienden líneas (bigotes) hasta los valores máximo y mínimo (Montgomery, 2001).

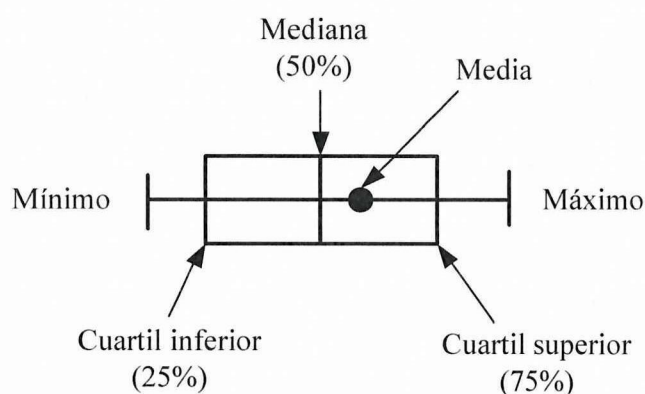


Figura 12. Diagrama de caja y bigotes

2.4.2. Regresión lineal múltiple.

La regresión lineal múltiple proporciona un medio de evaluar objetivamente el grado y carácter de la relación lineal entre las variables independientes y dependientes al formar el valor teórico. La ecuación general de regresión lineal múltiple consistió en ajustar el siguiente modelo:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon \quad \text{Ec. 17}$$

Donde, el valor esperado de y para cada valor de x es en donde los parámetros de la recta, β_0 y $\beta_{1,2,\dots,k}$, son constantes, y ε es el error aleatorio.

Los valores de los parámetros del modelo fueron estimados por mínimos cuadrados, y su significación fue obtenida por medio de un análisis de varianza (ANOVA). El valor de probabilidad fue ajustado al 95 %, nivel de 0.05. Los resultados del modelo fueron evaluados por medio de varias estadísticas, tales como: el coeficiente de determinación (R^2), el coeficiente de determinación ajustado para los grados de libertad ($R^2_{ajust.}$), el coeficiente de correlación (R), la estadística de Durbin-Watson (DW) y la estadística de porcentaje de contribución de cada parámetro del modelo (PC).

$$PC = \frac{\sum_{i=1}^n SS_i}{\sum_{i=1}^n SS_{total}} \quad (\text{Ec. 18})$$

La estadística PC relaciona la suma de cuadrados total (SS_{total}); y el efecto de cada componente del modelo (SS_i).

Para la validación del modelo de regresión se aplicó una prueba t-student no pareada, con el objetivo de evaluar la relación entre los datos experimentales obtenidos y los valores predichos por el modelo.

2.5. Valoración de índices de confiabilidad operacional.

Se tuvieron en cuenta los indicadores de clase mundial. Los mismos aparecen registrados en el manual de gestión de la calidad en la generación distribuida de electricidad en Cuba (GDECU). Los resultados fueron comparados con los reportados por la bibliografía. A continuación se relacionan los mismos.

Tiempo promedio entre fallos (TPEF): Es la relación entre el producto del número de equipos, por sus tiempos de operación, y el número total de las fallas detectadas, en el período de estudio. Este índice se aplica a los equipos que se reparan después de la falla.

$$TPEF = \frac{\text{No. Equipos} \times \text{Horas de Operación}}{\text{NT. de Fallas Detectadas}} \quad (\text{Ec. 19})$$

Tiempo promedio para la reparación (TPPR): Relación entre el tiempo total de intervención correctiva en un conjunto de ítems con falla y el número total de fallas detectadas en esos ítems, en el período observado. Utilizar en ítems para los

cuales el tiempo de reparación o sustitución es significativo en relación al tiempo de operación.

$$TPPR = \frac{\text{Horas de Fallas}}{\text{No. de Fallas}} \quad (\text{Ec. 20})$$

Tiempo promedio para fallar (TPPF): Relación entre el tiempo total de operación de un conjunto de ítems y el número total de fallas detectadas en esos ítems, en el periodo observado. Aplicar a ítems que se sustituyen después de fallar, sin reparar.

$$TPPF = \frac{\text{Horas Operadas}}{\text{No. de Fallas}} \quad (\text{Ec. 21})$$

Disponibilidad del equipo (DISP): Relación entre la diferencia del número total de horas del período (horas calendario) con el número de horas de mantenimiento (preventivo, reactivo y otros) en cada artículo controlado y el número total de horas del período considerado.

$$DISP = \frac{TPPF}{TPPF + TPPR} \cdot 100 \quad (\text{Ec. 22})$$

Donde:

TPPF: Tiempo promedio para la reparación.

TPPR: Tiempo promedio para la reparación.

Utilización (U): Utilización de equipos instalados. Horas de marcha reales (HMR) entre horas posible de marcha (HPM) por 100. Aplicable a centrales y equipos que se encuentran en funcionamiento y reserva.

$$U = \frac{\text{Horas operadas}}{\text{Horas en el periodo}} \cdot 100 \quad (\text{Ec. 23})$$

Valor más frecuente: 85 - 90 % para equipos en funcionamiento.

- Tendencia: estable.

Sintetiza el uso dado a las instalaciones para su fin: Producir. Repercuten en su valor tanto producción (usuario) como las ventas.

2.6. *Valoración de la incidencia de las fallas en la economía de explotación y la generación de electricidad.*

La incidencia de las fallas en la economía de la explotación de los grupos electrógenos es una medida a partir del cálculo y el análisis de los indicadores de la gestión de costos, especialmente los que relacionan al costo del mantenimiento entre el costo total de la producción. Para el caso en cuestión, es la generación distribuida de electricidad y su relación entre el costo del mantenimiento por la unidad de producción en el período dado.

Las expresiones de cálculos son las siguientes:

Relación del costo de mantenimiento vs producción: mide la proporción del costo de mantenimiento en relación al costo total de producción.

$$\% \text{ Costo de Mtto. vs Prod.} = \frac{\text{Costo Total de Mtto.}}{\text{Costo Total de Producción}} \cdot 100 \quad (\text{Ec. 24})$$

Costo de mantenimiento por unidad de producción: Mide el costo de mantenimiento por unidad de producción en un periodo dado. Permite visualizar mejoras o deficiencias en el desempeño de mantenimiento en relación a las unidades producidas.

$$\text{Costo Mtto vs Prod.} = \frac{\text{Costo Total de Mtto.}}{\text{Unidades Totales Producidas en el Período}} \cdot 100 \quad (\text{Ec. 25})$$



Capítulo III. Análisis y discusión de los resultados.

3.1. Resultados de la valoración de los índices de confiabilidad operacional.

3.1.1. Tiempo promedio entre fallas (TPEF).

Como bien refiere Tavares (1999), el tiempo promedio entre fallas es el tiempo que constituye la relación entre el producto del número de artículos por sus tiempos de operación, y el número total de fallas detectadas en esos ítems, en el período observado.

En la figura 13, se muestra un gráfico de barras en el que se representa el comportamiento del tiempo promedio entre fallas de los 16 motores instalados en los grupos electrógenos. Se aprecia claramente que el motor 6 presentó el valor más elevado de TPEF, con 566 h sin presentar fallas, lo que equivale aproximadamente a 24 días de operación sin interrupciones para corregir averías.

Amendola (2006) plantea, que mientras mayor sea el valor del TPEF, mayor es la confiabilidad del componente o equipo, y confirma además, que el análisis de fallos es el paso más importante en la determinación de un programa de mantenimiento óptimo, y éste depende del conocimiento del índice de fallos de un equipo en cualquier momento de su vida útil.

Los valores más bajos de TPEF son reportados por los motores: 5, 7, 15 y 16, respectivamente, en todos los casos con tiempo inferiores a 200 horas. Mientras, el motor 14 se encontraba fuera de servicio durante el período en que se produjo el estudio.

En el estudio de las fallas, no solo es importante precisar la ocurrencia de las mismas en el tiempo de operación de los equipos, sino también clasificarlas. En el presente trabajo se asumió, que se tendrá como patrón de referencia la criticidad de las fallas, que como bien expresa Gaudino en (1999), la criticidad del fallo de un equipamiento es cuestión de dos parámetros: su probabilidad de aparición y su severidad; siendo que la probabilidad de aparición mide la frecuencia estimada de ocurrencia del fallo considerado, mientras que la severidad, mide el impacto de fallo sobre la instalación.

En este sentido se tuvo como resultado que la criticidad de las fallas de los motores objeto de estudio, se comportó dentro de los rangos permisibles, teniendo en cuenta que las mismas no llegan a causar impactos de consideración sobre las funciones principales que desempeñan los grupo electrógenos, ni sobre la seguridad del personal de servicio y del medio ambiente, de ello da fe el cálculo de la disponibilidad técnica, que más adelante será analizada.

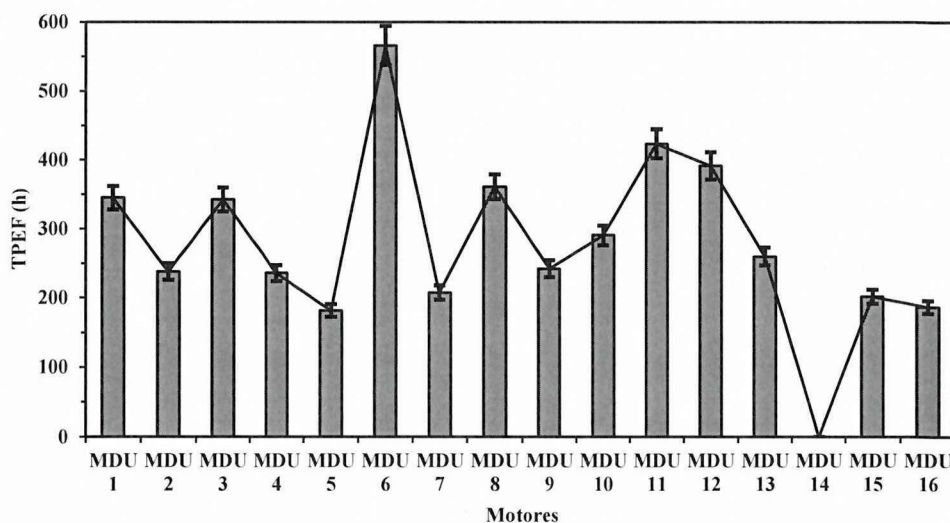


Figura 13. Comportamiento del tiempo promedio entre fallas (TPEF) en los motores 9H21/32.

La figura 14, muestra la proporción de las fallas registradas en el período estudiado. Se puede apreciar que el 35% corresponde a fallas críticas, entendidas estas como las que provocan la pérdida total o parcial de la capacidad de equipos de ejercer las funciones principales para las que fue concebido.

Dentro de la valoración de la confiabilidad fue necesario considerar también el porcentaje total de fallas críticas en comparación del número total de fallas en cada motor estudiado, correspondiendo los valores más alarmantes los motores 4, 9, 11 y 15, cuyos valores, como claramente se aprecia en el gráfico de la figura 15, se encuentran entre el 50 a 86%. En este gráfico se corrobora lo expuesto anteriormente en la figura 13, donde se pudo apreciar que los motores 5, 7, 15 y 16 presentan la mayor cantidad de fallas (críticas y no críticas).

Aunque, es importante aclarar, según refiere Daquinta (2006), que las fallas se subdividen en tres grupos de complejidad, según la dificultad para eliminarla. Este autor las denomina como del primer grupo de complejidad, que son aquellas fallas que se eliminan mediante la reparación o sustitución de las piezas situadas fuera de los mecanismos y agregados, sin desarmar los últimos, y además, cuya eliminación requiere la realización extra de operaciones del mantenimiento técnico planificados. Por ejemplo, la separación y pérdida de la tensión de correas o bandas, cables; quemaduras de la junta del colector de escape; pérdida de fijación en los tornillos, tuercas, entre otros; eliminación de salideros de aceite, combustibles, agua; estas averías se pueden eliminar sin el desarme del agregado y, en generalmente no afectan el tiempo operativo al extremo de considerarse una parada crítica por la implicaciones que acarrea a la generación de electricidad.



Figura 14. Distribución de las fallas clasificadas en críticas y no críticas.

En el caso objeto de análisis sirven de ejemplos los motores 2, 5, 7, 9, 13, 15 y 16. En el gráfico de la figura 15, se puede visualizar lo antes dicho.

3.1.2. Tiempo promedio para reparación (TPPR).

Este indicador nos da una idea aproximada del tiempo promedio que se demora en ejecutar el mantenimiento del equipo tras una falla (mantenimiento correctivo). Analizando este indicador podemos actuar para reducir los tiempos de equipo detenido por mantenimientos correctivos. Indudablemente estas mejoras del TPPR incrementan la disponibilidad de las instalaciones.

En la gráfica de la figura 16, se puede apreciar, que en los meses analizados, el motor que presentó el mayor valor de TPPR es el número 11. El mismo mostró un total de 7 fallas críticas, en las cuales fue necesario operaciones extras del mantenimiento correctivo.

Como se pudo comprobar, en ese período se registraron 56 horas fuera de servicio por mantenimientos correctivos para ese motor, lo que nos indica que en promedio cada reparación ejecutada del motor demoró 8 h. El resto de los equipos tuvieron un resultado adecuado, no obstante, todo motor que tenga individualmente un TPPR menor a este valor tiene un problema que puede ser mejorado.

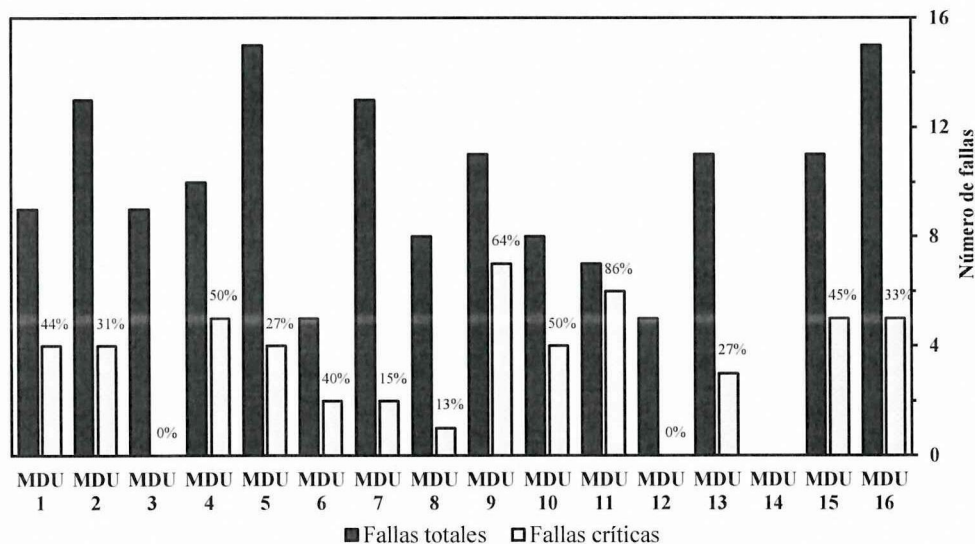


Figura 15. Gráfico comparativo entre las fallas totales y porcentaje de fallas críticas.

Un punto importante para analizar, donde es posible lograr una mejora sustancial, es en el alistamiento, entendido este como todas las acciones o tareas que realizan los ejecutores de mantenimiento y personal de operaciones desde el momento en que el equipo es detenido por una avería, hasta que nuevamente es puesto en servicio.

Intervienen en el alistamiento:

- Detención del equipo, proceso necesario para detener la producción

- Despresurizar, enfriar, desconectar, etc.
- Alistar herramientas
- Alistar repuestos
- Preparación y firma de permisos de trabajo
- Tiempo de viaje hasta la ubicación del equipo
- Realizar la actividad de mantenimiento
- Poner en servicio, calibrar, probar, etc.
- Entregar el equipo a operaciones.

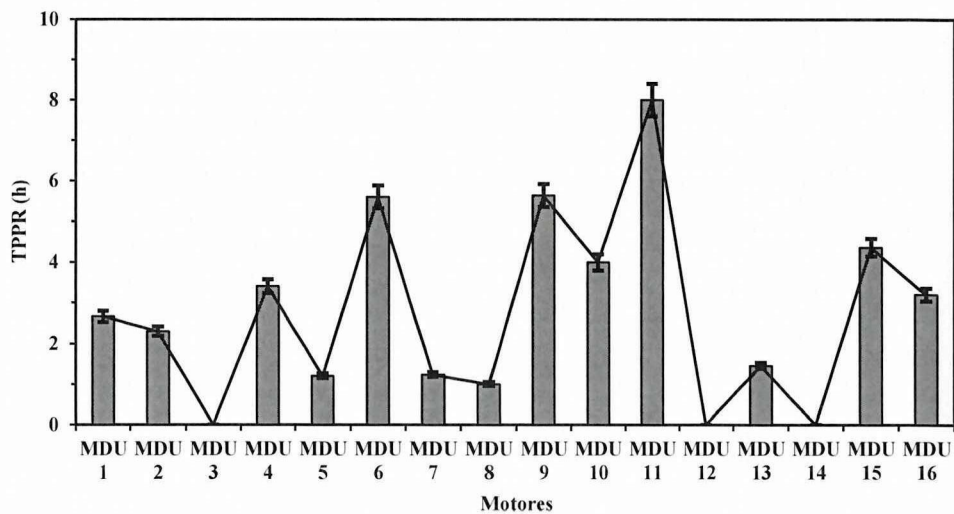


Figura 16. Gráfico comparativo del tiempo promedio para la reparación (TPPR).

Estos tiempos varían según el tipo de grupo electrógeno, en algunos casos el proceso de colocar el equipo fuera de servicio demora mucho tiempo. En algunos casos la puesta en servicio para ajustar el equipo o probarlo no es posible por cuestiones operativas. Hay que considerar en estos resultados, que los permisos de trabajo es un ítem que normalmente puede generar demoras.

Por otro lado, es indudable que el tiempo de demora para conseguir los repuestos, ya sea por su ubicación o por la necesidad de realizar una compra, deben estar contemplados en el TPPR. Esto nos dará una indicación de los costos

perdidos por desabastecimiento, lo que nos permitirá justificar mejoras en los almacenes.

Acciones recomendadas para disminuir el TPPR.

Contar con un sistema computarizado de gestión de mantenimiento (CMMS), y utilizarlo en todos los sectores que intervienen en el mantenimiento, operaciones, almacenes de repuestos, pañol de herramientas y mantenimiento, permite que al dispararse una orden de trabajo (OT) (preferentemente programada) todos se enteren que en un determinado momento se iniciará el mantenimiento del equipo.

Con esto, almacenes preparará los repuestos necesarios listados en la OT, el pañol dispondrá de las herramientas necesarias, en este caso hablamos de herramientas especiales como llaves especiales, compresores de aire entre otros.

Operaciones sabrá en que momento comenzar a preparar el equipos, sacarlo de servicio, despresurizarlo, enfriarlo, etc., para que cuando llegue el personal de mantenimiento lo encuentre lista para intervenirlo. Este trabajo en conjunto, ordenado y programado reduce los tiempos de equipo detenido.

3.1.3. Tiempo promedio para fallas (TPPF).

Otro índice que se determinó fue el tiempo promedio para fallar (TPPF), que es una medida que se usa con frecuencia como un indicador indirecto de la confiabilidad del equipo o sistema, y expresa el valor esperado o medio del tiempo para la variable aleatoria de fallo. Este indicador mide el tiempo promedio que es capaz de operar el equipo a capacidad sin interrupciones dentro del período considerado. El gráfico de la figura 17, muestra los resultados obtenidos, lográndose el mejor comportamiento para el motor 1, 3, 6, 8, 11 y 12, con valores superiores a 300 h.

Hay que destacar, que el problema de usar solo el TPPF como un indicador de la confiabilidad del equipo es que determina únicamente confiabilidad sólo si el tiempo básico para la distribución de fallo es exponencial. Si la distribución de fallo es de otro tipo, y no exponencial, el TPPF puede generar comparaciones erróneas.

Se considera una distribución exponencial debido a su aplicabilidad universal a sistemas reparables. Esta distribución describe las fallas aleatorias; y se utiliza como una herramienta de simplificación en sistemas cuyos múltiples componentes fallan por desgaste y otros modos.

El uso de una función exponencial supone asumir una tasa de fallas constante, lo cual no se desvía demasiado de la realidad, al menos por dos razones. Primero, al combinar diferentes funciones de distribución para una variedad de componentes, se produce un patrón aleatorio de fallas. Segundo, la reparación luego del fallo tiende a producir una tasa de fallas constante cuando la población es grande. Se requiere el buen juicio ingenieril del usuario sobre donde y cuando puede ser aplicada esta distribución.

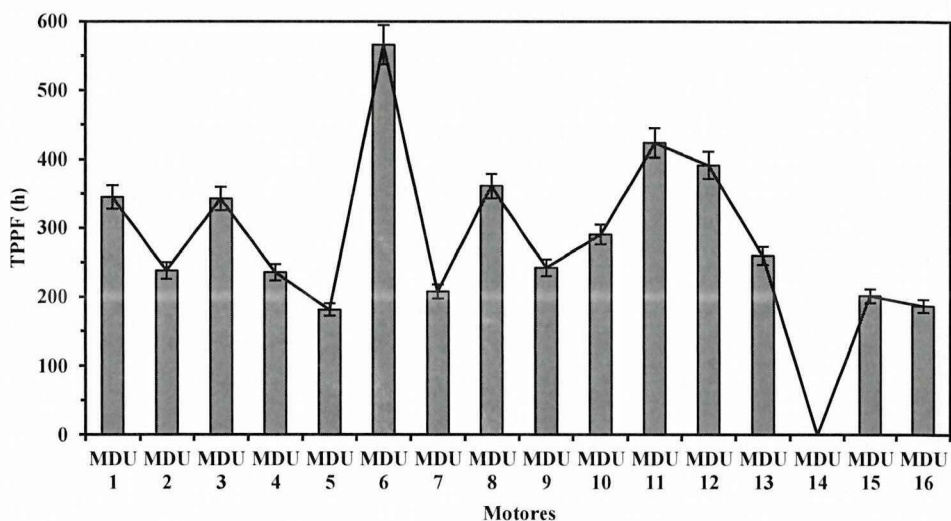
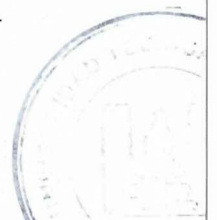


Figura 17. Gráfico comparativo del tiempo promedio para la falla (TPPF).

3.1.4. Disponibilidad del equipo (DISP).

La disponibilidad es una función que permite estimar en forma global el porcentaje de tiempo total en que se puede esperar que un equipo esté disponible para cumplir la función para la cual fue destinado. A través del estudio de los factores que influyen sobre la disponibilidad, el TPPF y el TPPR, es posible para la gerencia evaluar distintas alternativas de acción para lograr los aumentos necesarios de disponibilidad (Amendola. L, 2006).



La disponibilidad calculada arrojó valores 98%. Este comportamiento es lógico teniendo en cuenta, que los 16 grupos electrógenos poseen aproximadamente 6 años de explotación, es decir, que se encuentran en un período donde los valores de los parámetros que caracterizan la capacidad de ejercer las funciones esenciales como: la potencia, el consumo de combustibles y aceites, los regímenes de carga y velocidades, las vibraciones, los ruidos, las emisiones de gases, y en consecuencia la generación de energía eléctrica, se encuentran en los rangos admisibles.

Es evidente, que las fallas analizadas anteriormente, aunque inevitables, no han ejercido, aún, una influencia negativa en la confiabilidad operacional. No obstante, calcularlas, estimarlas, y aplicar los correspondientes análisis de sus modos y efectos, así como de investigar la pluralidad de causas raíz de las mismas, son elementos de suma importancia en la explotación de los grupos electrógenos en particular y, en sentido general para cualquier objeto técnico del que se espere cumpla una función específica.

La figura 18, muestra el gráfico de disponibilidad de los motores. En este sentido, es justo considerar que lo importante de la disponibilidad es lograr un valor mayor que la necesaria, esto es en general para equipos o instalaciones que no son de uso continuo, como es el caso de los grupos electrógenos.

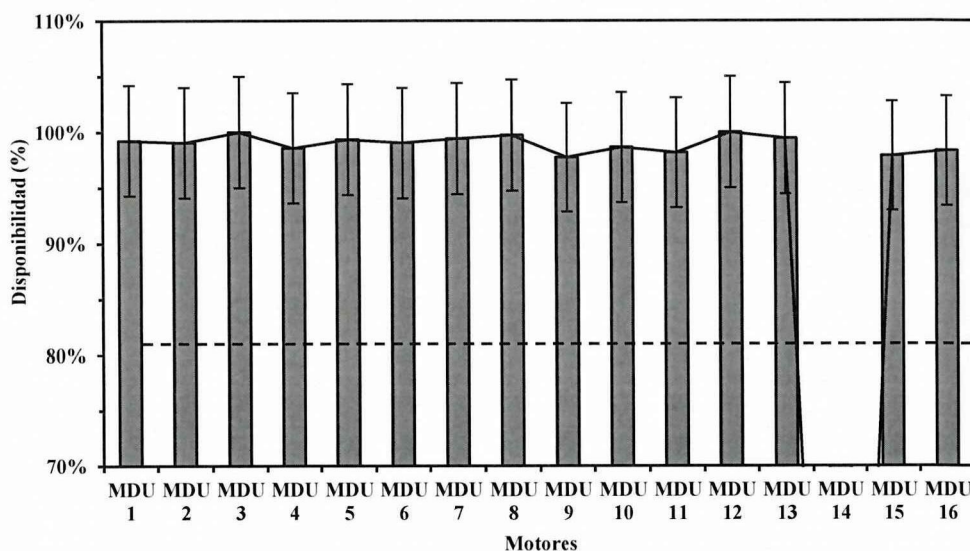


Figura 18. Disponibilidad técnica de los motores 9H21/32 (Disp).

Normalmente los grupos electrógenos trabajan en períodos puntuales en que se requiere, refuerzan el servicio de generación eléctrica, dado el alza de la demanda, por lo que en un año la disponibilidad necesaria, probablemente, puede que sea de solo el 50%, por lo tanto, lograr una disponibilidad algo superior al 50% es suficiente. Lo importante es que esa disponibilidad se dé en el tiempo que las circunstancias así lo requieran, por ejemplo, durante el ciclón Sandy, el último evento meteorológico de consideración que azotó a las provincias orientales, en que fue necesario la puesta en funcionamiento de los 16 grupos electrógenos para suplir la alta demanda tanto del sector empresarial, como del sector residencial.

En esta misma línea de razonamientos, se puede acotar, que algunas industrias ocupan sus equipos solo 5 o 6 días por semana, y otros menos de 24 horas por jornada, lo que hace que la disponibilidad necesaria nunca sea superior al 80 u 85%.

Esto representa una ventaja frente a equipos de uso continuo, pues si cualquier falla que comience a generarse durante el período de producción, la podemos reparar en los tiempos de receso, ese mantenimiento correctivo no afecta la disponibilidad necesaria del equipo, por lo tanto su confiabilidad es del 100%.

Este mantenimiento correctivo que no afecta la producción debe tener un nombre propio que lo identifique y diferencie de un correctivo normal, como ser “mantenimiento de oportunidad” o “mantenimiento preventivo por condición”, dado que por su característica, no debe modificar al indicador de confiabilidad. Estos elementos de juicio han sido enunciados oportunamente (Christensen. C, 2004).

3.1.5. Utilización productiva.

La utilización llamada también factor de servicio, mide el tiempo efectivo de operación de un activo durante un período determinado. En la figura 19, se muestra la utilización real que tuvieron los grupos electrógenos analizados en el período enero-diciembre de 2012. El valor alcanzado oscila entre un 51 a 72%, aproximadamente. El gráfico revela que los conjuntos que mayor utilidad han tenido, en el tiempo evaluado, son la 1, 2, 3, 8, 11, 13 y 16.

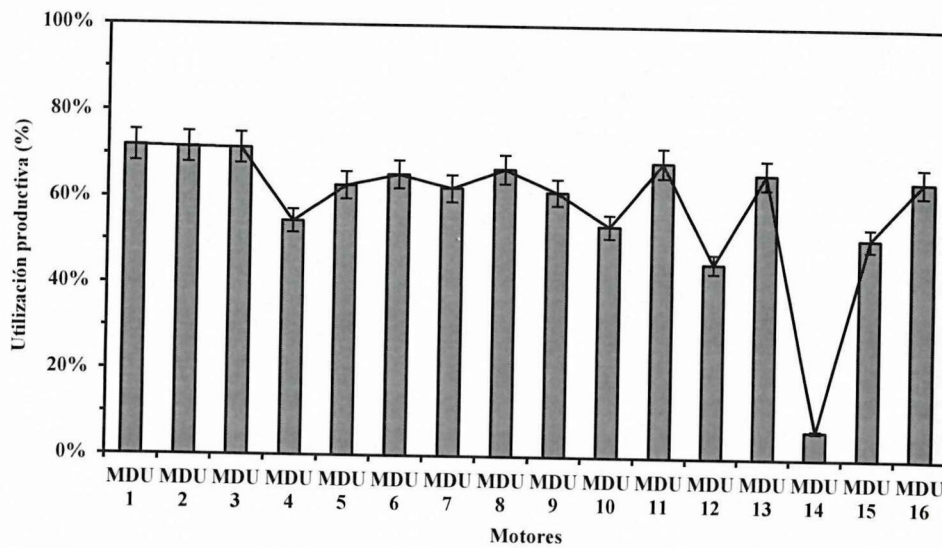


Figura 19. Utilización productiva de los motores 9H21/32 (U).

El gráfico de la figura 20, revela la relación entre la disponibilidad y la utilidad productiva de manera más directa.

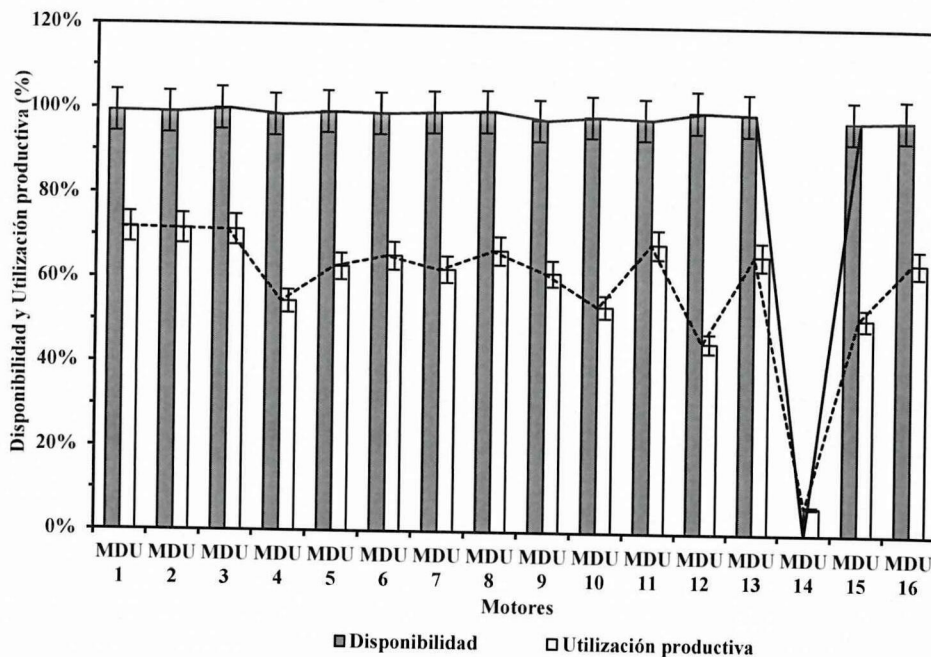


Figura 20. Relación de la disponibilidad y la utilización productiva.

Del mismo se puede inferir, que esta relación entre ambos índices es una medida de alerta, que debe movilizar al equipo de trabajo que atiende la operación y los servicios del mantenimiento, dado que se aprecia, que independientemente

de que el régimen de trabajo de estos equipos, como se señaló anteriormente no es continuo, es preciso velar para entrar en un caso de sub-utilización de los grupos electrógenos, es decir que no se esté aprovechando al máximo la disponibilidad técnica de los mismos. No obstante, el estudio pudo revelar, que el personal que atiende los grupos electrógenos posee la debida preparación, y todo el trabajo de utilización de los equipos es regido por las normativas que se cuentan contenidas en el manual de gestión para la generación distribuida de electricidad en Cuba.

3.2. Caracterización estadística de las fallas

En la tabla 2, y en la figura 21, se muestra la estadística descriptiva de las fallas y los gráficos de cajas y bigotes que caracterizan las fallas en los motores 9H21/32.

Tabla 2. Estadística descriptiva de los motores 9H21/32.

Estadística	TPEF (h)	TPPR (h)	TPPF (h)	Disponibilidad (%)	Relac. Costo Mtto vs Prod. (adimensional)	Utilización productiva (%)
Media	298.1	2.9	298.1	98.9	0.9	62.6
Desv. Estándar	107.1	2.3	107.1	0.8	0.4	8.0
Coef. Variación	35.9%	77.9%	35.9%	0.8%	49.9%	12.8%
Mínimo	181.2	0.0	181.2	97.7	0.4	45.3
Máximo	566.0	8.0	566.0	100.0	1.5	71.9
Rango	384.8	8.0	384.8	2.3	1.0	26.6
Mediana	259.7	2.7	259.7	99.0	99.0	64.7
Primer cuartil	207.3	1.2	207.3	98.1	98.1	54.5
Tercer cuartil	361.1	4.4	361.1	99.4	99.4	68.7

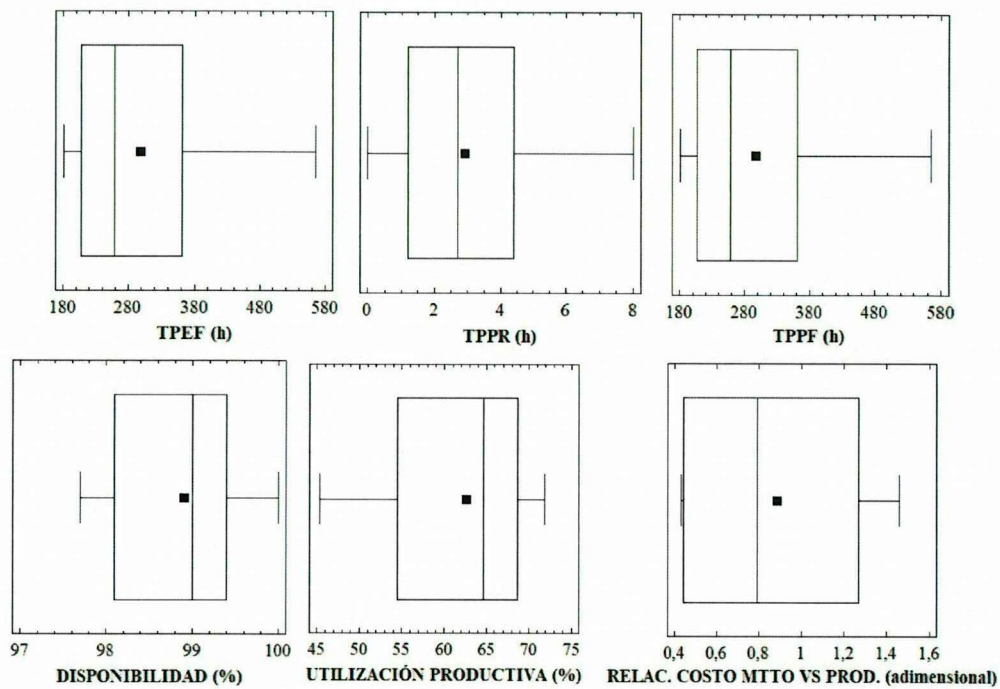


Figura 21. Gráficos de cajas y bigotes que caracterizan las fallas en los motores 9H21/32.

Se observó poca desviación entre los datos observados para los tipos de fallas analizados, caracterizados por los bajos coeficientes de variación obtenidos (inferiores al 40%), excepto para el TPPR y la relación del costo del mantenimiento y el costo de producción, con valores de 77.9 y 49.9%, respectivamente. Esto pudiera estar dado a que no existe una relación lineal entre estos indicadores, y que pudiera estar provocado por el incremento en las horas de trabajo, el tipo de combustible utilizado y la calidad de las reparaciones. Sin embargo, sí se pudo obtener una relación directa entre la disponibilidad y los indicadores TPEF y TPPR, aplicando un modelo de regresión lineal múltiple. De igual manera, también se obtuvo la relación entre los costos de producción y el mantenimiento con respecto a la relación entre ellos.

En la tabla 3, se observa el análisis de varianza (ANOVA) de los modelos lineales que caracterizan el comportamiento de la disponibilidad y la relación costo de producción vs mantenimiento.

Tabla 3. Tabla de análisis de varianza (ANOVA).

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F-ratio	P-valor
Modelo	7.4658	2	3.7329	63.67	0.0000 ^a
TPEF	0.6170	1	6.8489	10.52	0.0070 ^a
TPPR	6.8489	1	6.8489	116.82	0.0000 ^a
Residuos	0.7035	12	0.0586		
Total	8.1693	14			
Modelo	0.9839	2	0.4920	10.74	0.0247 ^a
Costo de producción	0.2625	1	0.2625	5.73	0.0749 ^b
Costo de mtto.	0.7215	1	0.7215	15.75	0.0166 ^a
Residuos	0.1833	4	0.0458		
Total	1.1672	6			
Parámetro	Estimado	Error estándar	Estadística T	P-valor	
Constante	98.7197	0.1942	508.1920	0.0000 ^a	
Costo de prod.	0.0038	0.0006	5.9996	0.0001 ^a	
Costo de mtto	-0.3179	0.0294	-10.8085	0.0000 ^a	
Constante	0.8608	0.2176	3.9557	0.0167 ^a	
Costo de Prod.	-5.7452*10 ⁻⁸	1.5557*10 ⁻⁸	-3.6930	0.0210 ^a	
Costo de mtto	7.5*10 ⁻⁶	1.89*10 ⁻⁶	3.9682	0.0166 ^a	

^a Significativo a la probabilidad de 95% ($\alpha=0.05$)

^b Significativo a la probabilidad de 90% ($\alpha=0.10$)

Los modelos lineales obtenidos por la regresión múltiple fueron los siguientes:

$$\text{Disponibilidad} = 98.7197 + 0.0037 * \text{TPEF} - 0.3179 * \text{TPPR}$$

$$\% \text{ Costo Mtto vs Prod.} = 0.8608 - 5.7452 * 10^{-8} * \text{Costo Prod.} + 7.5 * 10^{-6} * \text{Costo Mtto}$$

El ANOVA evidencia de que los modelos lineales predicen acertadamente el comportamiento de estos dos indicadores, caracterizados por los bajos valores de probabilidad observados (valores inferiores a 0.05), indicando que las ecuaciones son significativas para un nivel de confianza del 95%. De similar manera, todas las variables que intervienen en los modelos son significativas, demostrando que los todos factores que intervienen en los modelos son importantes para predecir el comportamiento de las variables de respuesta en el período de estudio. Aunque en el modelo de la relación entre el costo de mantenimiento y el costo de producción, la variable costo de producción no fue significativa al 95%, si lo fue al 90%, indicando que esta factor es importante en predecir el este indicador seleccionado. Sin embargo, no se pudo alcanzar alguna relación entre la utilización productiva

(U) con alguno de los demás indicadores, debido a que no se encontró un modelo que predijera acertadamente el comportamiento de esta variable. Estos resultados revelan que no se puede relacionar linealmente la utilización productiva con algunos de los indicadores de fallas.

En el primer modelo lineal, el factor que tuvo una mayor incidencia fue el TPPR, con un alto porcentaje de contribución de 91.7%, mientras que, en menor proporción la tuvo el TPEF con 8.3% (Figura 22). Estos resultados muestran que la mayor variabilidad de los datos de disponibilidad provienen del tiempo en que se dedica para reparar los motores, ya que éstos fallan poco, por eso los altos valores de disponibilidad. Una similar situación se observó en el segundo modelo, la mayor dispersión de fue debido al costo de los mantenimientos (73.3%), y en menor incidencia el costo de la producción (26.7%).

La figura 23, representa un gráfico de dispersión entre los valores observados de las variables consideradas y los valores predichos por los modelos. El carácter lineal del gráfico de dispersión indica el comportamiento lineal de los datos indicando que los datos se ajustan a una distribución normal, hipótesis fundamental para un diseño de regresión lineal múltiple. Los altos valores del coeficiente de determinación (R^2), del coeficiente de determinación ajustados para los grados de libertad ($R^2_{ajust.}$), y del coeficiente de correlación observados ($R^2 = 91.4$ y 84.3% , $R^2_{ajust.} = 89.9$ y 76.4% , $R = 96.8$ y 91.9% , respectivamente), muestran lo adecuado de estos modelos; por otro lado, se evidencia en la figura 23, el apropiado ajuste de las ecuaciones.

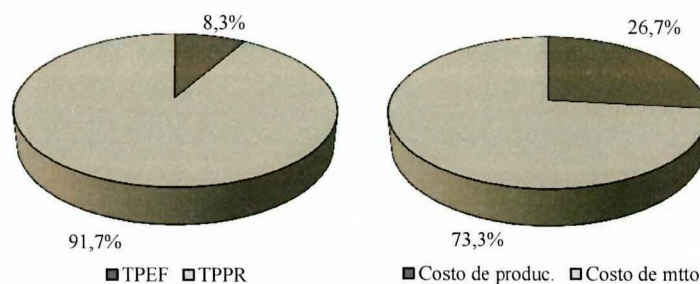


Figura 22. Diagrama que muestra la incidencia del porcentaje de contribución de los componentes de los modelos lineales obtenidos.

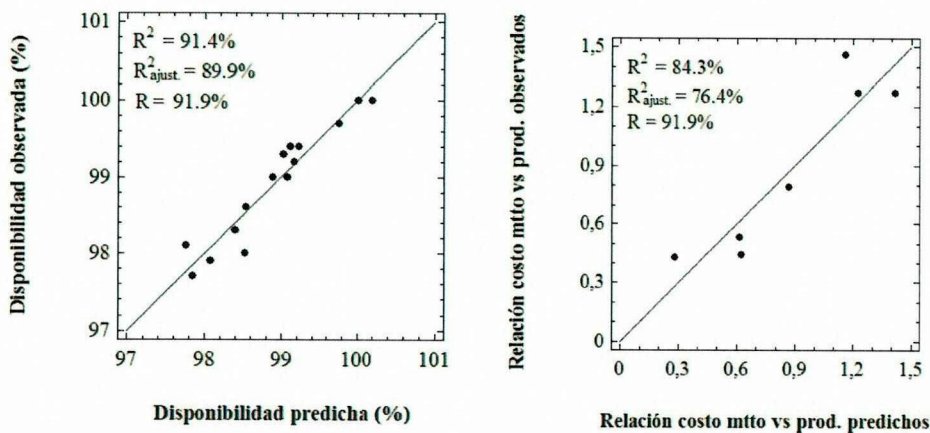


Figura 23. Dispersión entre los valores observados y los valores predichos por los modelos

Para verificar la validez de los modelos lineales se realizó una comparación para comprobar si no existieron diferencias significativas entre los datos observados y los datos predichos por los modelos, auxiliándose de una prueba t-student pareada. Los resultados indicaron que en ambos modelos los valores de probabilidad calculados (P-valor = 0.7541 y 0.3559, para disponibilidad y la relación costo del mantenimiento vs producción) no fueron estadísticamente significativos para una probabilidad de 95%. De tal forma, que no fue posible violar la hipótesis de nulidad que indicaba que no existían diferencias entre los valores comparados de las muestras independientes.

3.3. Valoración de la incidencia de las fallas en la economía de explotación y la generación de electricidad.

3.3.1. Relación del costo de mantenimiento versus producción obtenida.

La tabla 4, muestra los resultados alcanzados relativos a los indicadores que expresan la relación entre el costo de mantenimiento y la producción obtenida, en este caso solo se analiza el periodo comprendido entre julio 2012 y enero 2013.

Tabla 4. Relación de costos de mantenimiento versus producción del periodo de julio. enero/2012 – 2013.

Meses	Costo total de la producción (CUP)	Costo total del mantenimiento (CUP)	Relación costo de Mantenimiento vs Producción (%)
Julio	14.594.147,51	186.039,25	1,27
Agosto	22.951.234,53	98.477,70	0,43
Septiembre	9.772.461,77	123.756,18	1,27
Octubre	13.960.612,91	73.861,36	0,53
Noviembre	5.718.575,22	83.554,74	1,46
Diciembre	5.662.269,62	44.477,07	0,79
Enero	9.842.928,12	43.755,47	0,44

Como se puede apreciar, la relación porcentual se comporta entre un 0,43 a 1,46%, esto se corrobora claramente en el gráfico de la figura 24. En el mismo, se confirma, evidentemente, que la relación entre el costo del mantenimiento y la producción obtenida es favorable en los 7 meses analizados, pudiendo este valor llegar hasta un 4% sin que se vea afectada la eficiencia económica en la explotación de los 16 grupos electrógenos con que cuenta la central eléctrica.

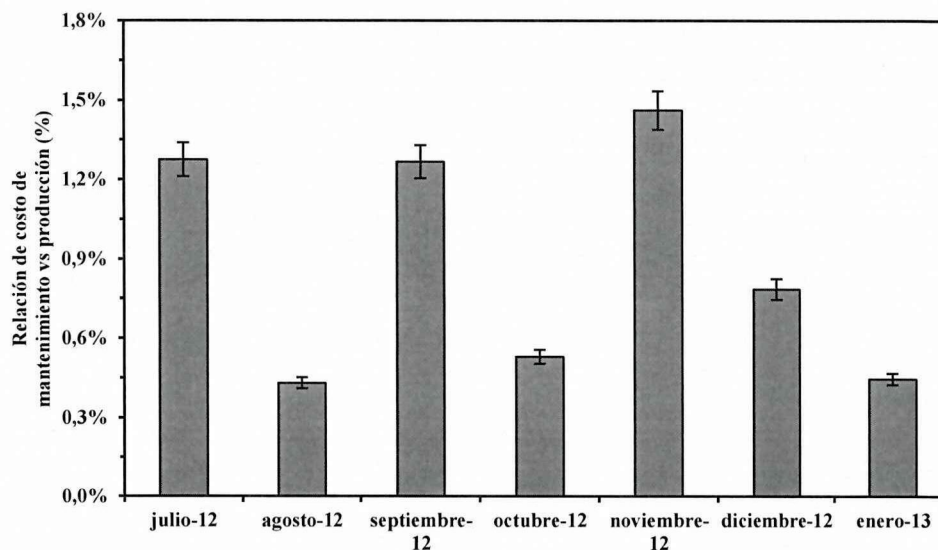


Figura 24. Relación del costo de mantenimiento versus producción obtenida.

Sin embargo, la tabla 5, revela otra relación, la cual es interesante comentar. Esta surge de comparar la relación costo de mantenimiento-producción versus electricidad generada en MW, en el periodo comprendido entre julio 2012 a enero de 2013. Como se aprecia, y en concordancia con lo expresado antes, la mejor respuesta a este indicador la registran los meses de julio, septiembre, octubre, diciembre y enero. Obsérvese que el mes de agosto, que si bien exhibe el más bajo índice de relación entre los costos mantenimiento y producción 0,43%, registra el valor más bajo de tiempo de operación 4177 h y, en correspondencia con esto la menor cantidad de energía eléctrica generada con un total de 5847 MW.

Por su parte, el mes de noviembre, presenta el más alto índice de relación entre los costos mantenimiento y producción 1,46%. Sin embargo, registra el valor relativamente bajo de tiempo de operación 5271 h y, en correspondencia con esto una cantidad de energía eléctrica generada de 7379,4 MW, inferior en 787 MW al valor promedio calculado de 8166 MW.

Al valorar estos resultados, se puede señalar que no solo es importante el logro de una eficiente jornada de trabajo, en la que se eleve el tiempo de operación de los equipos, y se obtenga de ellos la máxima generación de electricidad, sino también cuidar porque esto se haga con la debida efectividad económica.

Tabla 5. Relación porcentual costo de mantenimiento vs costo de producción y generación producida en el periodo de julio enero/2012 – 2013.

Indicadores	Julio	Agosto	Sep.	Octubre	Nov.	Dic.	Enero
Relación costo de	1,27	0,43	1,27	0,53	1,46	0,79	0,44
Horas de operación	6148	4177	6703	6487	5271	5961	6083
Electricidad	8607,2	5847,8	9384,2	9081,8	7379,4	8345,4	8516,2
Valor promedio	8166 MW						

3.4. Valoración de la demanda de piezas críticas.

El comportamiento de la demanda de las piezas más deficitarias, se puede observar en el gráfico de la figura 25. Ocupan la máxima atención los elementos de pulverización del combustible (toberas), que en el periodo evaluado fallaron 24 unidades. Las causas se explican por las difíciles condiciones en que trabajan

estos elementos, dentro de las que se pueden citar, las altas temperaturas, las altas presiones de los gases, la formación de depósitos de carbonillas y los residuos de la combustión, incidencia de compuestos altamente corrosivos, entre otros.

Le sigue en orden de importancia el compensador inferior y las culatas, con 15 unidades y 5 respectivamente. En ambos casos, responde a las mismas propias condiciones de funcionamiento de las mismas. Pese a la alta demanda, la central eléctrica cuenta con una reserva de piezas, que le permite suplir el déficit y continuar la marcha de la generación de electricidad.

El gráfico de la figura 26, especifica con más detalles, el comportamiento de la demanda de piezas por cada motor. Atendiendo al costo por pieza y el valor total, en función del total de piezas afectadas, se considera que a excepción de los sellos, la válvula solenoide y la válvula de escape, el resto de las piezas ejercen un impacto negativo en lo relativo al balance económico por concepto de desembolso de dinero en compras de repuestos.

La tabla 6, refiere un resumen de las implicaciones económicas. Esta información recopilada y puesta a disposición de los almacenes, permite que en la medida de lo posible de haga un trabajo encaminado a reducir un porcentaje, previo estudio, de las reservas de piezas de repuesto en almacenes, ello reduce a su vez el riesgo de tener una excesiva cantidad de artículos de lento movimiento.

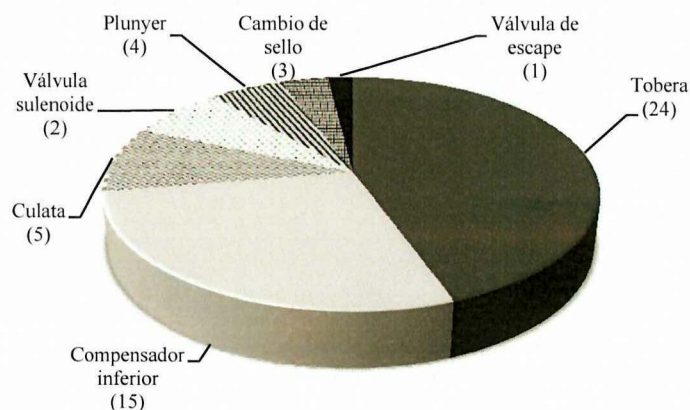


Figura 25. Distribución de las piezas críticas de alta demanda de los motores 9H21/32.

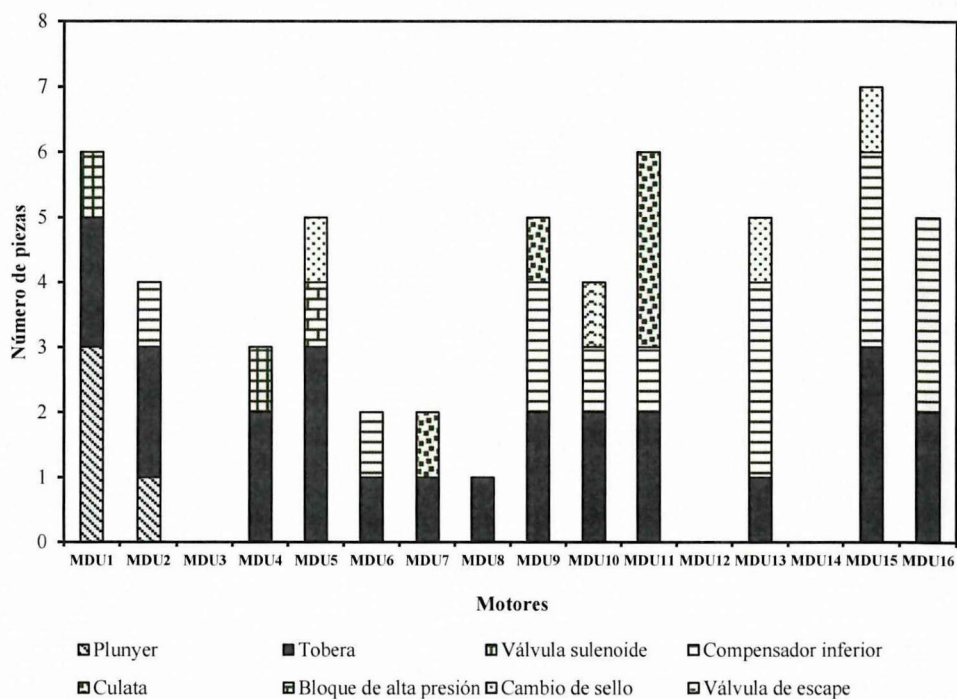


Figura 26. Distribución de piezas críticas por cada motor 9H21/32.

Tabla 6. Relación de costos de las piezas críticas de alta demanda.

Tipo de pieza	Cantidad	Costo por pieza (CUC)	Costo (CUC)
Toberas	24	\$ 8.109,13	\$194.619,20
Compensador inferior	15	\$ 8.830,74	\$132.461,03
Culata	5	\$ 23.883,68	\$119.418,41
Pares de precisión de la bomba	4	\$ 40.607,22	\$ 62.428,88
Cambio de sello	3	\$ 13,15	\$ 39,44
Válvula solenoide	2	\$ 2.988,00	\$ 5.976,00
Válvula de escape	1	\$ 14.002,37	\$ 14.002,37
Bloque de alta presión	1	\$ 9.289,99	\$ 9.289,99
		Subtotal	628.945,32

CONCLUSIONES

1. El cálculo y análisis periódico de la confiabilidad operacional de los motores HYUNDAI de 1,7 MW, a partir de los principales índices de gestión de equipos y de costos, mostró ser una herramienta efectiva que permite obtener una valoración de la calidad de los servicios de mantenimientos y reparaciones en la Unidad Empresarial de Base de Generación Distribuida de Bayamo.
2. La disponibilidad técnica promedio de los motores HYUNDAI supera el 97 %, lo cual es una evidencia de las excelentes condiciones operacionales en que funcionan y, en consecuencia, el bajo historial de fallas registradas al presentar un TPEF entre 200 y 550 h.
3. Los valores de utilización productiva se encuentran por debajo del 80%, ello es resultado del régimen normal de explotación de los grupos electrógenos, dado que su puesta en marcha obedece a factores condicionados por la propia demanda y los requerimientos de energía eléctrica.
4. La relación costo del mantenimiento-producción es favorable, pudiendo este valor llegar hasta un 4% sin que se vea afectada la eficiencia económica en la explotación de los grupos electrógenos.

RECOMENDACIONES

1. Desarrollar de manera sistemática otras evaluaciones de la confiabilidad considerando nuevos parámetros de funcionamiento de los motores HYUNDAI tales como: la presión y las temperaturas en los sistemas de lubricación, aire combustible y turbo compresores.

BIBLIOGRAFÍA

- Amendola, L. (2002). " Modelos Mixtos de Confiabilidad." Disponible en: www.mantenimientomundial.com.
- Amendola, L. (2010). "Indicadores de confiabilidad propulsores en la gestión del mantenimiento." Proyectos de Ingeniería Disponible en: http://scholar.google.es/scholar?q=FACTORES+QUE+INFLUYEN+LA+CONFIABILIDAD+OPERACIONAL&btnG=&hl=es&as_sdt=0%2C5.
- Amendola, L. 2006. *Gestión de Proyectos de Activos Industriales*. Universidad Politécnica de Valencia
- Amendola, L, J (2006). Modelos mixtos de confiabilidad. 60 - 70.
- Bazovsky, I. 2004. *Reliability Theory and Practice*.
- Blanchard, B. S., Dinesh, V. y Elmer, P. 1994. *Maintenability: a key to effective serviceability and maintenance management*
- Botero, B. (2003). Mantenimiento Preventivo Posgrado en Gerencia de Mantenimiento. Santander, Universidad Industrial de Santander. **Tesis en opción al título de Ingeniero Industrial: 1-7.**
- Cetenma. (2012). "Generacion electrica distribuida potencial de generacion de electricidad fotovoltaica sobre cubiertas en la region de Murcia." Acceso: 30 de mayo, 2013, Disponible en: www.cetenma.es.
- Cuba, SEN (2006). Generación Distribuida, Una alternativa Energética y Económica. La Abana.
- Christensen. C, H (2004). Indicadores de mantenimiento. 11.
- Daquinta, G. A 2006. *Mantenimiento de máquinas agrícolas*. La Habana, Cuba,
- Ebeling, Ch. E. 2005 *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering* Waveland Press, Inc. – New York – USA,
- Escalona, I. (2008). "Factores universales para determinar la confiabilidad." 1-05-2013, Disponible.
- Garrido, Hernandez 1994. *Gestion de la produccion industrial*. Madrid - España, 16-17.
- Gaudino, G. A (1999). Implementación de las técnicas TPM Y RCM en mantenimiento y explotación de subestaciones transformadoras de energía eléctrica. *Edenor S.A. (Empresa Distribuidora Norte S.A.) Argentina*.
- Gómez, C. (2003). Plataforma Básica para un enfoque del mantenimiento centrado en confiabilidad. Ciudad de la Habana. Cuba, CEIM – CUJAE. Primera edición.
- Jones, R. (1995). Risk Based Management: A realibility Centered Approach. *Gulf Publishing Company 1*.

- Leemis, L. M. 1995. *Reliability: Probabilistic Models and Statistical Methods*. New Jersey USA, Editorial Prentice Hall International Series in Industrial and Systems Engineering,
- Marks, J. (1997). Combining TPM and reliability-focused maintenance (RCM) reliability centered maintenance,electric maintenance & repair. *Article Journal*. volumen 211, p 49-52.
- Matos, Q. T. J. y Torres, J. J. (2004). Diseño e implementación de programas de mantenimiento usando técnicas de confiabilidad operacional mediante la administración del SAP. Caracas, Venezuela, Universidad Central de Venezuela. **Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Mecánico: 134.**
- Montgomery, Dougall 2001. *Desing and Analysis of Experiment 5th Edition*. USA, Jonh Wiley & Sons, Inc.,
- Moscoso, C. D. F. (2007). Análisis de la confiabilidad de un sistema eléctrico de distribución de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S. A. Latacunga. Ecuador, Escuela Politécnica del Ejército - Latacunga. **Tesis en opción al título de Ingeniero Electromecánico: 92.**
- Moubray, J. (2004). Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Gran Bretaña: Aladon Ltd, : 433 p.
- Nachlas, J. A. 1995. *Fiabilidad primera edición*. Editorial ISDEFE, Madrid – España, 15-18.
- Pinzón, A. A. (2011). Diseño de un plan de gestión para el mantenimiento centrado en confiabilidad para el centro de generación eléctrica a base de gas de la empresa COPOWER LTDA. Facultad de Ingeniería Fisico-Mecanicas, Escuela de Ingeniería Mecánica. Bucaramanga, Universidad Industrial de Santander. **Tesis en opción al título de Especialista e Gerencia de Mantenimiento.: 97.**
- Quintela, F.R, Redondo, R.C y Redondo, M (2013). Grupos de generación de energía eléctrica,grupos electrógenos. STS Proyectos de Ingeniería. Salamanga, Universidad de Salamanca.
- Ramakumar, R. 1996. *Engineering Reliability. Fundamentals and Applications*. New Jersey – USA,
- Revista, Cubana. (2010). "Calidad de la energía y generación distribuida en Cuba " *Ingenieria Electrica* Acceso: 10 de abril, 2013, Disponible en: <http://rci.cujae.edu.cu/index.php/rci/article/view/28/29>.
- SEN, Cuba (2006). Generación distribuida, una alternativa energética y económica. La Habana. Cuba.
- Sexto, L. F. (2005). Confiabilidad integral de activos. Seminario internacional de mantenimiento, Centro de estudios de innovación y mantenimiento. Insituto superior politécnico José Antonio Echeverría,
- Suárez, D. (1999). Modelo de confiabilidad para el mantenimiento de sistemas mecánicos en plantas industriales. Centro de estudios de Postgrados. Bcelona,

España., UNEFA. **Tesis en opción al título de Ingeniero Magister Scientiarum.**

- Tavares, L. (1999). *Administración Moderna del Mantenimiento*. Publicacion Brasil, Novo Polo: p 213.
- Tavares, L. A. 2003. *Administración moderna de mantenimiento*. Rio de Janeiro, Universidad Federal de Rio de Janeiro,
- Torres, G (2012). "El motor de combustión interna y su impacto ambiental." Acceso: 5 de marzo, 2013, Disponible en: www.Monografias.com.
- Unamuno, M. (2004). Análisis de modos y efectos de fallos (FMEA). *Uniersidad de Salamanca*.
- Wikipedia. (2013). "Impacto ambiental." Acceso: 5 de septiembre, 2012, Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos14/impacto-ambiental/impacto-ambiental>.
- Wikipedia. (2013a). "Impacto de grupos electrógenos al medio ambiente." Acceso: 12 de febrero, 2013 Disponible en: http://www.ipscuba.net/index.php?option=com_k2&view=item&id=336:estudi-an-impacto-de-grupos-electr%C3%B3genos&Itemid=8&tmpl=component&print=1.
- Wikipedia. (2013b). "Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (MCC)." Acceso: 21 de mayo, 2013, Disponible en: http://www.solomantenimiento.com/m_confiabilidad_crm.htm.
- Wikipedia. (2013c). "Motores de combustión interna y su impacto ambiental. ." Acceso: 25 de marzo, 2013, Disponible en: <http://www.buenastareas.com/materias/el-motor-de-combusti%C3%B3n-interna-y-su-impacto-ambiental/20>.
- Yañez, M., Perdomo, J. y Gomez de la Vega, H. . (2010). "Ingeniería de confiabilidad; pilar fundamental del mantenimiento. ." 08-04-2013, Disponible en: http://scholar.google.es/scholar?q=ESTIMACION+DE+LA+PROBABILIDAD+DE+FALLAS+Y+LA+CONFIABILIDAD&btnG=&hl=es&as_sdt=0%2C5