



UNIVERSIDAD DE HOLGUÍN

OSCAR LUCERO MOYA

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

# TRABAJO DE DIPLOMA

**Título:** Análisis de la modificación en el conducto final de los gases de escape de los grupos electrógenos de la serie 4000 en la provincia de Holguín.

**Estudiante:** Yunior Pérez Ramírez.

**Tutor:** M. Sc. Arnel Zúñiga Torres.

Holguín.

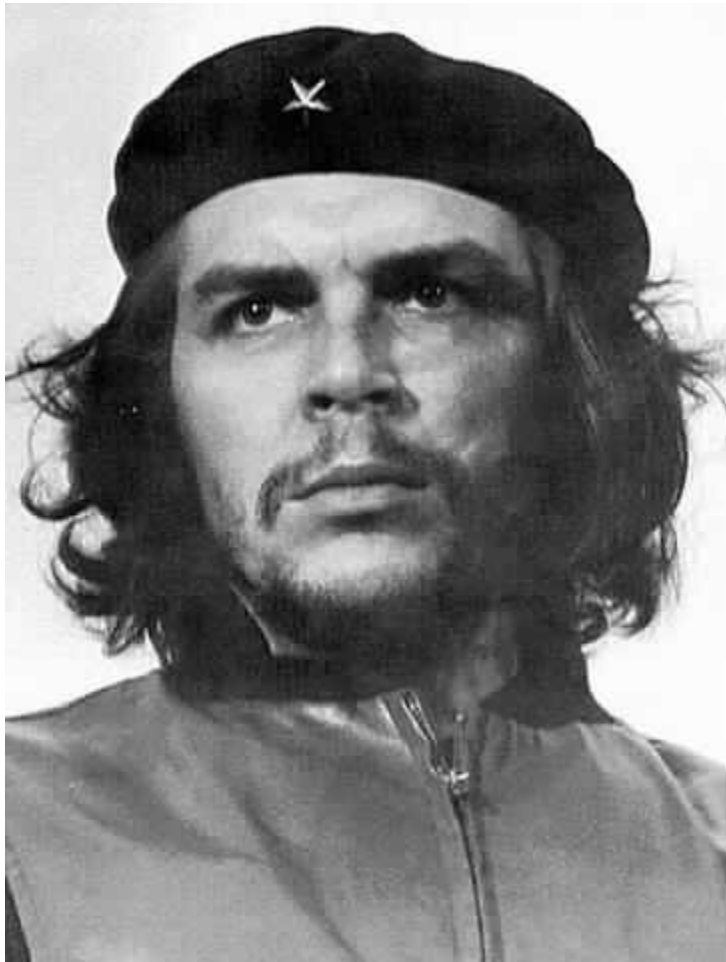
2011



# PENSAMIENTO

La calidad no está en las cosas que hace el hombre, sino en el hombre que hace las cosas.

**Ernesto Ché Guevara**



# AGRADECIMIENTOS

De forma especial agradezco a todas aquellas personas que de una forma u otra contribuyeron en el desarrollo de este trabajo de diploma, agradeciéndole de forma muy especial al compañero Elio Hidalgo que tuvo una participación muy importante, además de mi tutor Arnel Zúñiga Torres, a todo el personal de la empresa que de una manera u otra participaron de forma muy positiva en el desarrollo del trabajo, a mis padres, mi novia y demás compañeros de mi grupo.

# RESUMEN

El trabajo de diploma que se presenta a continuación fue desarrollado en la “UEB Generación Distribuida de Holguín”. Para el desarrollo del mismo se realizaron dos capítulos, contando cada uno con una serie de epígrafes que dan respuesta al objetivo de este. En el capítulo I se hace referencia a la descripción de los grupos electrógenos, así como sus datos técnicos, conducto de escape, electroventiladores, rodamientos, lubricación, e influencia de los gases de escape. Por otra parte en el capítulo II se realiza un análisis de las causas que provocan el deterioro de los rodamientos superiores del electroventilador #1 antes de la modificación, análisis de la influencia de la modificación del conducto final de los gases de escape en los rodamientos del electroventilador #1, así como las generalidades de las fallas del electroventilador.

# SUMMARY

The diploma work that is presented next was developed in the UEB Distributed Generation of Holguín". For the development of the same one they were carried out two chapters, having each one a series of epigraphs that you/they give answer to the objective of this. In the I surrender I reference it is made to the description of the groups electrógenos, as well as their technical data, escape conduit, electroventiladores, rodamientos, lubrication, and it influences of the escape gases. On the other hand in the I surrender II he/she is carried out an analysis of the causes that cause the deterioration of the superior rodamientos of the electroventilador #1 before the modification, analysis of the influence of the modification of the final conduit of the escape gases in the rodamientos of the electroventilador #1, as well as the generalities of the flaws of the electroventilador.

# ÍNDICE

	<b>Contenido</b>	<b>Páginas</b>
	Introducción.	1
	Capítulo I.	6
1	Fundamentación teórica de la investigación.	6
1.1	Caracterización de la empresa.	6
1.2	Breve descripción de los grupos electrógenos.	8
1.3	Conducto de escape.	9
1.3.1	Condiciones generales a tener en cuenta a la hora de la instalación del conducto de escape.	9
1.3.2	Condiciones técnico-operativas para la instalación del conducto de escape.	10
1.3.3	Requisitos tecnológicos para la instalación del conducto de escape.	11
1.4	Datos técnicos de los grupos electrógenos.	12
1.5	Electroventiladores de los grupos electrógenos.	15
1.6	Rodamientos.	16
1.6.1	Tipos de rodamientos.	16
1.6.2	Características del rodamiento rígido de bola de una hilera.	18
1.6.3	Principales ventajas de estos rodamientos.	19
1.6.4	Duración o vida útil de los rodamientos.	19
1.6.5	Mantenimiento de los rodamientos.	20
1.6.6	Limpieza de los rodamientos.	20
1.6.7	Fallas en los rodamientos.	21
1.7	Lubricación de los rodamientos.	22
1.7.1	Función principal de los lubricantes en los rodamientos.	22
1.7.2	Condiciones del lubricante para que cumpla sus funciones.	22
1.8	Influencia de los gases de escape.	23
	Capítulo II.	25
2	Análisis de la modificación en el conducto final de los gases de escape.	25

2.1	Análisis de las causas que provocan el deterioro de los rodamientos superiores del electroventilador #1 antes de la modificación.	25
2.2	Análisis de la influencia de la modificación en el conducto final de los gases de escape en los rodamientos del electroventilador #1.	28
2.3	Generalidades de las fallas en el electroventilador.	31
2.3.1	Tipos de fallas.	32
2.3.2	Categorías dentro de las cuales se pueden ubicar las fallas.	32
2.4	Mantenimiento del electroventilador.	33
2.5	Contribución del trabajo de diploma a la defensa de la patria.	36
2.6	Impacto ambiental.	37
2.7	Medidas de seguridad e higiene del trabajo en los grupos electrógenos.	38
	Conclusiones.	40
	Recomendaciones.	41
	Bibliografía.	42
	Anexo.	44

# INTRODUCCIÓN

Este trabajo se realizó en la “UEB Generación Distribuida de Holguín” ubicada en la calle línea # 3 / 16 y 18 Pueblo Nuevo. Esta empresa es la que se encarga de la dirección de los grupos electrógenos en general. Estos grupos no son más que motores de combustión interna (MCI) acoplados a un generador. Estos motores son compactos, potentes, fiables y extraordinariamente rentables, su sistema de inyección Common Rail reúne un aprovechamiento óptimo del combustible con el cumplimiento de todas las prescripciones medioambientales relevantes.

Los grupos electrógenos fueron introducidos en nuestro país [según 4] debido a las insuficiencias que venía presentando el sistema eléctrico nacional. Por esta razón se trata de buscar nuevas alternativas para enfrentar roturas u otros inconvenientes existentes en los circuitos de plantas eléctricas. Desde hace algún tiempo se inició la batalla por el ahorro energético. Dentro de las medidas que nuestro país ha implantado para enfrentar y materializar esta situación se puede mencionar como la más importante la instalación de los grupos electrógenos con el objetivo de apoyar y estabilizar a la red eléctrica nacional, además de la utilización más racional del combustible, el proceso de rehabilitación de las redes eléctricas y el trabajo de las brigadas de linieros en todo el país. A partir de esta decisión y hasta el momento se han instalado más de 1205 grupos electrógenos en nuestro país que generan aproximadamente 250 000 Kw de potencia, y que en caso de alguna avería no representa un problema para la distribución de la energía eléctrica en el sistema nacional, gracias a que estos equipos tienen una distribución geográfica adecuada, lo que evita que se produzca alguna crisis y se afecte la población en general. Estos grupos electrógenos tienen una disponibilidad mayor de un (90 por ciento), muy por encima de la disponibilidad de las plantas termoeléctricas (60 por ciento) con que cuenta nuestro sistema energético.

Durante el período revolucionario se construyeron en nuestro país nuevas termoeléctricas aumentando la capacidad de generación, pero la caída del campo socialista y el deterioro de las mismas por falta de piezas de repuestos e insuficiente mantenimiento, trajo consigo que en el año 2004 diera inicio a una degeneración (crisis) de electricidad en el país. Por esta situación la dirección del país toma la decisión de la implementación como ya se mencionaba de la generación distribuida como una solución para elevar las capacidades de generación.



Debido a esta crisis y apoyada únicamente [según 8] en grandes plantas con elevados índices de consumo de combustibles y redes de transmisión y distribución en mal estado técnico, surgieron las ideas de la instalación de los grupos electrógenos.

Los grupos electrógenos son equipos con bajo consumo energético, alta disponibilidad, facilidad para su instalación, rapidez en su ejecución y puesta en explotación, moderado costo y alta confiabilidad; además de la facilidad y posibilidad de ubicación de emplazamiento en regiones remotas y comunidades aisladas, gracias al desarrollo de la tecnología energética descentralizada. En nuestro país ya se dispone de 250 000 Kw generados por grupos electrógenos ubicados en diferentes regiones y favoreciendo al sistema energético nacional instalados de forma aislada como en baterías.

A pesar de que estos nuevos equipos han favorecido a nuestra economía, se puede citar que no todo es positivo; ya que el impacto ambiental de los (MCI) está estrechamente relacionado con un problema social, surgido por la utilización creciente de los mismos, trayendo consigo la emisión de sustancias tóxicas al medio ambiente provocando los llamados gases invernaderos, ocasionando también elevados niveles de ruido. Las discusiones internacionales acerca de las causas e implicaciones para la humanidad del llamado efecto invernadero, provocado por las crecientes emisiones a la atmósfera de gases tales como: dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano, óxido nitroso y los clorofluorocarbonatos, reflejan la necesidad de un enfoque integral en el tratamiento de los problemas ambientales y del desarrollo, así como la necesidad de una acción concertada de la comunidad internacional; para mitigar los efectos del calentamiento global provocado particularmente por las elevadas emisiones de gases a la atmósfera.

También se puede mencionar que los (MCI) actúan sobre el medio ambiente de diversas formas tales como:

- Consumo de oxígeno que contiene el aire atmosférico.
- Emisión y contaminación de la atmósfera con gases tóxicos que perjudican al hombre, la flora y la fauna.
- Emisión de CO<sub>2</sub> que provoca el llamado efecto invernadero contribuyendo a la elevación de la temperatura de nuestro planeta.
- Emisión de altos niveles de ruido al medio ambiente.

De acuerdo con estimaciones del Panel Intergubernamental sobre cambios climáticos; de mantenerse [según 6] las actuales tendencias en las emisiones de gases del efecto invernadero, la temperatura media global aumentaría a un ritmo de 0.3°C por década.

Consecuentemente se producirán incrementos en el nivel del mar que pudiera ser de alrededor de 1 m para el año 2100.

El elemento fundamental que hace funcionar a estos grupos electrógenos es un (MCI), el mismo dispone de diferentes sistemas dentro de los cuáles se encuentra el sistema de enfriamiento.

En el caso del sistema de enfriamiento o refrigeración la función principal es mantener estable la temperatura adecuada para el funcionamiento del motor ( $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), ya que se ha demostrado que en el momento de la explosión la temperatura alcanzada en la cámara de combustión es aproximadamente de  $2000\text{ }^{\circ}\text{C}$ , es decir, superior al punto de fusión del material que están fabricados los cilindros. Es una temperatura instantánea, ya que la misma disminuye rápidamente con la expansión de los gases y la entrada de mezcla fresca en el siguiente tiempo de admisión, si no se dispusiera de un correcto sistema de enfriamiento estos se dilatarían en exceso, produciéndose agarrotamientos y deformaciones a la vez que se pondrían al rojo y se descompondría el aceite de engrase. Es decir, el sistema de refrigeración instalado [según 5 y 19] debe ser eficaz para evacuar la cantidad de calor que es generada a intervalos muy cortos de funcionamiento, tanto por el frotamiento de las piezas en movimientos como por la combustión de los gases en el cilindro. A su vez este control de la temperatura no debe ser excesiva ya que rebajaría el rendimiento del motor por lo cual la temperatura interna de este debe mantenerse dentro de los límites de tolerancia de los materiales.

El electroventilador juega un papel importante en el (MCI) ya que tiene como objetivo principal activar la corriente de aire que penetra en el contenedor, recirculando el aire y extrayendo todo el aire caliente que se genera producto a la puesta en marcha y posterior funcionamiento del motor. Estos ventiladores se deterioran con frecuencia producto a las altas temperaturas alcanzadas en la parte superior de los mismos provocadas por los gases de escape que dañan los sellos de los rodamientos. La temperatura en la zona exterior del rodamiento superior sobrepasa los  $94\text{ }^{\circ}\text{C}$ , duplicando la temperatura recomendada por el fabricante para el correcto funcionamiento de estos ventiladores que es de  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$  aproximadamente, constituyendo esto la **situación problemática** del presente trabajo.

**Problema:** ¿Cómo determinar la influencia de la modificación en el conducto final de los gases de escape en el deterioro del sistema sello-rodamiento del electroventilador # 1 de los grupos electrógenos MTU BR 4000 16 V G 81?

**Objeto de estudio:** Estudio de la influencia de la modificación en el conducto final de los gases de escape de los grupos electrógenos de la serie MTU BR 4000 16 V G 81 Holguín.

**Campo de acción:** Análisis de la influencia de la modificación en el conducto final de los gases de escape en el deterioro del sistema sello-rodamiento del electroventilador # 1.

**Hipótesis:** Si se realiza un análisis de las fallas del electroventilador # 1 permitirá determinar la influencia de la modificación en el conducto final de los gases de escape de los grupos electrógenos MTU BR 4000 16 V G 81.

**Objetivo General:** Determinar la influencia de la modificación en el conducto final de los gases de escape en las fallas del electroventilador # 1 de los grupos electrógenos MTU BR 4000 16 V G 81.

**Tareas de la investigación:**

1. Revisar la bibliografía relacionada con el tema.
2. Caracterizar el sistema de distribución de los gases y sistema de enfriamiento.
3. Análisis de las causas que provocan el deterioro de los rodamientos superiores del electroventilador # 1 antes de la modificación.
4. Determinar la influencia de la modificación en el conducto final de los gases de escapes en las fallas del electroventilador # 1.
5. Elaborar el informe.

**Métodos de investigación:**

En el desarrollo de la investigación se utilizaron métodos teóricos y empíricos que integran técnicas y herramientas de diversa índole. Dentro de los métodos teóricos empleados se encuentran:

---Análisis y síntesis: Para procesar la información obtenida a partir de la revisión de la literatura especializada y la consulta de expertos en los temas tratados, determinar características y obtener resultados.

--- Enfoque sistémico- estructural- funcional: Permitió analizar cada parte del trabajo por separado y luego como un todo.

--- Hipotético –deductivo: En el planteamiento de la idea fundamental que se defiende en la investigación.

Los métodos empíricos están relacionados con instrumentos psicosociales de búsqueda de información, métodos de expertos y métodos estadísticos, tales como:

--- Observación participante: Permitió la recopilación de información preliminar sobre los elementos que inciden negativamente en el deterioro del electroventilador #1 de los grupos electrógenos MTU BR 4000 16 V G 81 .

--- Entrevistas: Se entrevistó al personal directivo y a los obreros para conocer su percepción acerca de las problemáticas existentes con el electroventilador #1

--- Modelación: Para el análisis de los resultados y la definición de las estrategias.

**Resultados esperados:** Determinar la influencia que ejerce la modificación puesta en práctica en el conducto final de los gases de escape de los grupos electrógenos MTU BR 4000 16 V G 81 en la durabilidad de los rodamientos del electroventilador #1 y en el alargamiento de su vida útil.

# CAPÍTULO I

## 1. Fundamentación teórica de la investigación.

El objetivo principal de este capítulo es la búsqueda de información relacionada con el funcionamiento de los grupos electrógenos, donde se abordará sobre los rodamientos, sistema de escape y una breve caracterización del grupo electrógeno, además de la caracterización de la empresa en la cual se desarrolló el presente trabajo de diploma.

### 1.1. Caracterización de la Empresa.

La Unidad Empresarial de Base Generación Distribuida de Holguín ubicada en la calle línea # 3 / 16 y 18 Pueblo Nuevo se subordina al Ministerio de la Industria Básica (MINBAS) y es la encargada de la dirección principal de los grupos electrógenos, así como la supervisión técnica de la actividad del proceso de producción de energía eléctrica de estos grupos emplazados en el territorio. La misma se ha trazado como misión fundamental explotar y prolongar la vida de estos equipos con una visión de brindar un servicio de excelencia en la generación. Para el cumplimiento de este objetivo cuenta con un equipo de trabajo que desarrollará las siguientes funciones:

- ☞ Gestión de la explotación.
- ☞ Gestión de Mantenimiento.
- ☞ Gestión del combustible.
- ☞ Planificación y control de la producción.

La actividad fundamental que realiza la empresa es la prestación de servicios apoyando a la red eléctrica nacional. El objeto social de la entidad esta integrada por brigadas y grupos de trabajadores que laboran en actividades especializadas que cubren toda la provincia, su objeto fundamental es garantizar la generación distribuida y el mantenimiento y aseguramiento de los mismos, mediante la red de instalaciones de que dispone.

Los principales clientes de la unidad están constituidos por toda la población y organismos de la provincia que es a quienes va dirigido este servicio, para ello cuenta con proveedores fijos entre los que se encuentran:

- ☞ CUPET: (es el encargado del suministro de combustible a las unidades).

- ☞ Materias Primas (materiales necesarios para la fabricación de algunas piezas de estos equipos).
- ☞ Geysel: (encargada del mantenimiento y reparaciones de los grupos electrógenos).
- ☞ MTU: (principalmente representantes cubanos de los alemanes).

Las principales funciones y atribuciones de la empresa son las siguientes:

- ☞ Organizar el proceso productivo o la prestación de servicios.
- ☞ Proyectar y ejecutar sus planes y presupuestos, así como los objetivos y metas a alcanzar en cada período.
- ☞ Elaborar el plan de capacitación de los trabajadores de la unidad y controlar su cumplimiento.
- ☞ Ejercer los controles establecido y preservar los recursos materiales y financieros de la unidad, mediante la aplicación de las medidas de seguridad y protección que se orientan.
- ☞ Cumplir y hacer cumplir los procedimientos establecidos por la unión eléctrica.
- ☞ Cumplir con las medidas establecidas para la seguridad y salud del trabajo y la protección del Medio Ambiente.
- ☞ Ejecutar la política de mantenimiento de los grupos electrógenos de la provincia.
- ☞ Cumplir y hacer cumplir el procedimiento e operación del Sistema Eléctrico Nacional en la provincia.
- ☞ Elaborar los objetivos para lograr una alta confiabilidad en la gestión de la operación.
- ☞ Organizar la revisión de los trabajos de innovación y racionalización y evaluar la necesidad de proteger los aportes científicos.
- ☞ Ejercer control sobre los gastos materiales e informar a los órganos de dirección el comportamiento de los mismos.
- ☞ Supervisar la ejecución de la explotación de los grupos electrógenos.
- ☞ Organizar y controlar toda la actividad y los procesos relacionados con la generación.

De forma general la empresa dirige 99 grupos electrógenos de la serie 4000 y 18 de la serie 2000 para un total de 117 grupos existentes en la provincia. Los 117 grupos están instalados en 30 emplazamientos diseminados por toda la provincia instalados de forma aislada como en baterías.

La Empresa de Generación Distribuida está conformada por el organigrama que se presenta a continuación (ver figura 1.1).

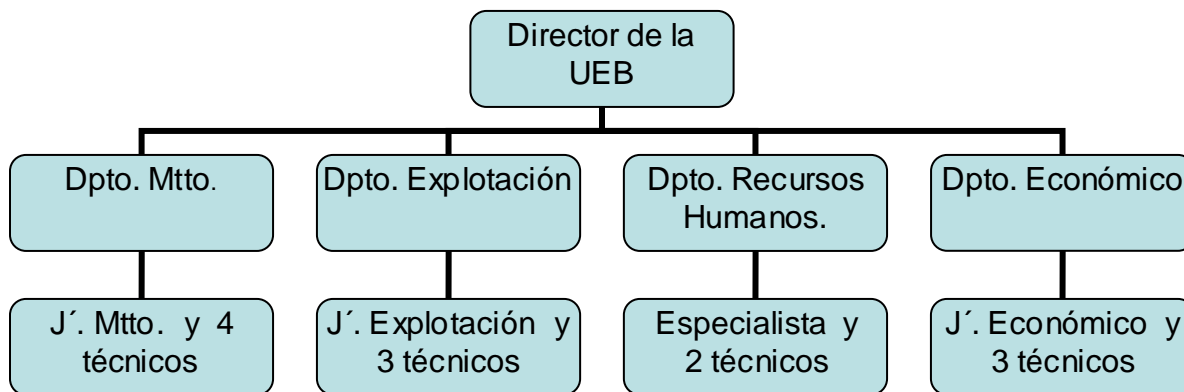


Figura 1.1. Organigrama de la empresa.

## 1.2. Breve descripción de los grupos electrógenos:

Un grupo electrógeno es una máquina [según 9] que mueve un generador de electricidad a través de un motor de combustión interna (ver anexo # 1). Son comúnmente utilizados cuando hay déficit en la generación de energía eléctrica de algún lugar, o cuando son frecuentes los cortes en el suministro eléctrico. Así mismo, la legislación de los diferentes países pueden obligar a instalar un grupo electrógeno en lugares en los que haya grandes densidades de personas (centros comerciales, restaurantes, cárceles, edificios administrativos, etc) Una de las utilidades más comunes es la de generar electricidad en aquellos lugares donde no hay suministro eléctrico, generalmente son zonas apartadas con pocas infraestructuras y muy poco habitadas. Otro caso sería en locales de pública concurrencia, hospitales, fábricas, etc., que a falta de energía eléctrica de red, necesiten de otra fuente de energía alterna para abastecerse.

Los grupos electrógenos que se instalaron en la provincia de Holguín pertenecen a la familia de grupos electrógenos de gran rendimiento, para proporcionar energía en el momento en que se instalan, solo necesitando líquido refrigerante, combustible y ácido para las baterías, ya se instaló serviciado con todos estos elementos por lo que su montaje y puesta en marcha fueron un éxito, exceptuando la salida de los gases de escape, se tuvo que realizar una modificación en la tubería final de la salida de los gases de escape.

Los grupos electrógenos presentan un grupo de ventajas dentro de las cuáles se encuentran las siguientes:

- Larga vida útil.
- Elevado kilometraje.
- Reducido consumo de combustible.
- Cumple la mayoría de las prescripciones sobre gases de escape.

Los grupos electrógenos [según 11] son considerados fuentes importantes que pueden afectar la calidad del aire en el área local o regional y esto se debe a la combustión que ocurre en el (MCI) donde estos emiten una serie de sustancias tóxicas, donde se pueden citar las siguientes; dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) entre otras, además de partículas que pueden contener metales menores. Las cantidades de cada uno dependerán del tipo, del tamaño de la instalación, de la calidad de combustible y del estado técnico de la instalación.

### **1.3. Conducto de escape.**

El propósito del sistema de escape del motor [según 18] es dirigir el escape hacia un lugar y una altura donde los gases y olores no produzcan molestias o peligro, reduciendo al mismo tiempo el ruido producido por el motor. El grupo electrógeno trae incorporado un silenciador adecuado en el tubo de escape para reducir el nivel de ruido del motor; sin embargo en los grupos electrógenos de la serie 4000 instalados en la provincia de Holguín, el escape va dirigido hacia el electroventilador # 1, provocando deterioro prematuro en los rodamientos superiores de los mismos.

Este sistema debe ser instalado correctamente y la ventilación debe ser la adecuada. Los gases del escape deben ser conducidos (ver anexo # 2) por tuberías sin peligro lejos de la unidad a un área no utilizada por personas. Se debe tener en cuenta que el motor consume oxígeno y el escape del motor contiene gas de monóxido de carbono, siendo este un gas mortal que afecta la salud de todos los seres vivo, además de las plantas e incidiendo también en el medio ambiente en general.

#### **1.3.1. Condiciones generales a tener en cuenta a la hora de la instalación del conducto de escape.**

1. El diámetro de la tubería de los gases de escape [según 18] debe ser el que corresponda para que no supere la contrapresión máxima permisible para el grupo electrógeno que se instala.
2. Se tendrá en cuenta el trazado de la tubería, número de codos, silenciador empleado y tipo de chimenea para el cálculo correspondiente.
3. La tubería se instalará con un recubrimiento de aluminio o de acero inoxidable.



4. Se debe incluir un colector para que la humedad sea drenada de los tubos, instalándose en el punto más bajo de la conducción, lo más cerca posible de la salida del escape del motor de forma que el agua no llegue al silenciador.
5. El silenciador de los gases de escape debe colocarse muy cerca del motor para aumentar al máximo su eficacia.
6. Debe instalarse un flexible de escape a la salida del colector del motor para aislar el peso de la tubería de escape, permitir desplazamientos laterales y longitudinales, como consecuencia de dilataciones y reacciones de par.
7. Los recorridos largos de la tubería de escape deben dividirse en secciones que lleven juntas de dilatación entre ellas. Cada sección debe estar fija en un extremo

### **1.3.2. Condiciones técnico-operativas para la instalación del conducto de escape.**

Las condiciones técnico- operativas [según 18] que se deben tener muy en cuenta en la instalación de los conductos de escape de los grupos electrógenos son las siguientes:

- El escape del motor de todos los grupos electrógenos instalados en interiores debe conducirse al exterior por medio de tubos a prueba de fugas, de acuerdo con las especificaciones, estándares y otros requisitos pertinentes.
- Asegurar que los tubos y silenciadores calientes estén libres de cualquier producto combustible y estén dotados de la debida protección de acuerdo con los requisitos de la seguridad del personal.
- Asegurar que los humos de la salida del escape no produzcan peligro.

Al analizar las condiciones técnico- operativas que se describen anteriormente, se confirma que la instalación de los conductos de escape de los grupos electrógenos en la provincia de Holguín, no cumplen con todas estas condiciones; debido a que los humos de la salida del escape producen deterioro en los electroventiladores.

Se considera que, el deterioro en algunas partes de la tubería de escape de los grupos electrógenos; originadas por la corrosión, está relacionado con la utilización de un material

no idóneo, o sea, el material usado, no es de acero inoxidable con alto contenido de níquel y tungsteno, este material es el recomendado y garantiza además un largo período de explotación sin deterioro.

### **1.3.3. Requisitos tecnológicos para la instalación del conducto de escape.**

Además de las condiciones mencionadas anteriormente que se deben cumplir obligatoriamente para la instalación de los conductos de escape de los grupos electrógenos, [según 18] también se deben tener en cuenta una serie de requisitos tecnológicos donde se pueden citar los siguientes:

1. Al diseñar un sistema de escape, la consideración principal [según 14] es no exceder la contrapresión permitida por el fabricante del motor, una contrapresión excesiva afectará gravemente el rendimiento, duración y consumo de combustible del motor. Para lograr este objetivo se debe usar un tubo de acero inoxidable de 210 mm, 50 mm más que el del tubo de salida de escape del motor, que es de 160 mm,( las normas técnicas consideran correcto 10 mm más de diámetro por cada 10 m de tubería).

2. Debe existir una pequeña inclinación del nivel del tubo horizontal, con respecto a la línea horizontal, de esta manera el agua que pudiera penetrar al interior de la chimenea no iría de ninguna forma al interior del motor y puede ser evacuada por una válvula de purga ubicada en la parte más baja del conjunto.

3. Otro criterio de diseño que debe tenerse en cuenta es utilizar una conexión flexible entre el colector de escape y el sistema de tubos para evitar la transmisión de la vibración del motor a los tubos y al edificio o local donde se encuentre. En este caso, este requisito no es de vital importancia pues los grupos instalados en la provincia de Holguín fueron situados en un terreno amplio y no dentro de un local.

4. Como última consideración a tener en cuenta, se le debe construir una caperuza para el extremo final de la tubería de escape, al ser su porción final de posición vertical, para evitar que el agua de lluvia u otro elemento, caiga dentro de la chimenea y perjudique la operación correcta de motor.

Se puede afirmar, que no se tuvo en cuenta a la hora de realizar la modificación de la tubería de escape en los grupos electrógenos en Holguín; los puntos dos y cuatro de los

requisitos tecnológicos para la instalación del conducto de escape que se mencionaron anteriormente.

#### 1.4. Datos técnicos de los grupos electrógenos.

A continuación [según 11 y 12] se muestran algunos de los datos técnicos principales de estos grupos electrógenos.

1- Simbología: (MTU BR 4000 16 V G 81)

- Serie: MTU BR 4000.
- 16: Número de cilindros.
- V: Disposición de los cilindros.
- G: Aplicación.
- 8: Segmento de aplicación.
- 1: Nivel de contracción.

2- Dimensiones principales del grupo.

Tabla: 1.1. Dimensiones principales.

Parámetros	Dimensiones
Largo (A) (mm)	aprox.: 2880
Ancho (B) (mm)	aprox.: 1550
Alto (C) (mm)	aprox.: 1760

3- Peso aproximado del motor.

El motor tiene un peso aproximado de: 6950 Kg.

4- Estado de referencia.

- Denominación del motor: 16V 4000 G 81.
- Grupo de aplicación: 3B.
- Temperatura del aire de aspiración: 25 °C.
- Temperatura del líquido refrigerante del aire de carga: 55 °C.

- Presión barométrica: 1000 mbar.
- Altura de empleo sobre el nivel del mar: 100 mts.

5- Datos de potencia.

(Los datos de potencia se refieren a las potencias útiles según ISO 3046).

- Número de cilindros: 16.
- Número de revolución nominal del motor: 1800 rpm.

6- Datos referidos al tipo (construcción básica).

- Motor con turbo-sobrealimentación por gases de escape y refrigeración del aire con carga.
- Conducto de escape no refrigerado.
- Ciclo de trabajo: 4 tiempos, Diesel, de simple efecto.
- Procedimiento de combustión: inyección directa.
- Tipo de refrigeración: agua tratada.
- Sentido de giro: A izquierda (visto sobre el lado de accionamiento).
- Culatas: culatas individuales.
- Camisas de cilindro: húmedas, recambiables.
- Disposición de los cilindros: ángulo en V, a 90 grados.
- Diámetro y carrera del pistón:

Tabla: 1.2. Datos del diámetro y carrera del pistón.

Parámetros	Dimensiones
Diámetro (mm)	165
Carrera (mm)	190

7- Sistema del líquido refrigerante (circuito de alta temperatura).

- Temperatura del líquido refrigerante: 95 °C.
- Temperatura del líquido refrigerante después del motor: 97 °C.
- Temperatura del líquido refrigerante después del motor, parada o advertencia: 99 °C.
- Porcentaje de anticongelante en líquido refrigerante, máx: 50 %.
- Pérdida de presión en el sistema de refrigeración externo del motor, máx.: 0.7 bar.

8- Sistema del líquido refrigerante (circuito de baja temperatura).

- Temperatura del líquido refrigerante antes del refrigerador de aire de carga (entrada del equipo de refrigeración): 55 °C.
- Porcentaje de anticongelante en líquido refrigerante, máx: 50 %.
- Pérdida de presión en el sistema de refrigeración externo del motor, máx: 0.7 bar.

9- Sistema del aceite lubricante.

- Temperatura de servicio del aceite lubricante antes del motor, de 85 °C a 95 °C.
- Temperatura del aceite lubricante antes del motor, advertencia: 95 °C.
- Presión de servicio del aceite lubricante antes del motor, de 5.0 bar a 6.0 bar.
- Presión del aceite lubricante antes del motor, advertencia: 4.5 bar.
- Presión del aceite lubricante antes del motor, parada: 4.0 bar.

10- Datos del servicio general, se clasifican en:

1→ Datos generales.

• Capacidad de arranque en frío: Temperatura del aire (sin ayuda del arranque, sin precalentamiento)

- Precalentamiento del líquido refrigerante: 10 °C.
- Temperatura de precalentamiento: 32 °C.
- Velocidad de encendido, de: 80 rpm
- Velocidad de encendido, a: 120 rpm

2→ Capacidades.

- Líquido refrigerante del motor, zona motor (sin equipo de refrigeración): 175 litros.
- Líquido refrigerante del aire de carga, zona motor: 40 litros.
- Aceite del motor total en primera carga, sistema de aceite estándar, máx: 290 litros.
- Capacidad del depósito de aceite, marca mínima: 160 litros.
- Capacidad del depósito de aceite, marca máxima: 230 litros.

### **1.5. Electroventilador de los grupos electrógenos.**

El electroventilador es un equipo destinado para ventilar los espacios cerrados, constituido [según 7] por un motor eléctrico; que acciona una paleta lo bastante grande como para desplazar de manera regular y continua una masa de aire (ver anexo # 3). Los diversos modelos se distinguen sobre todo por su potencia y sus dimensiones (los más grandes suelen ser también los más potentes y estar montados sobre una plataforma que se apoya sobre el suelo), así como por el plano de rotación de la paleta, que puede ser vertical (con posibilidad de ligeras inclinaciones para dirigir el flujo de aire hacia arriba o hacia abajo), oscilando a menudo lateralmente, o bien horizontal (en los modelos fijados al techo).

Estos ventiladores se encuentran situados en la parte superior del contenedor y son puestos en marcha por un motor eléctrico que se alimenta directamente de la corriente que generan estos grupos, cada grupo de la serie 4000 poseen tres ventiladores, el consumo de energía de estos suman 62 Mw, contando cada ventilador con (9) aspas y teniendo como función principal hacer recircular el aire que penetra en el contenedor además de extraer a la atmósfera los gases calientes producidos por el proceso de combustión del motor, el peso aproximado de cada ventilador es de 172 Kg, con rodamientos superiores e inferiores de clasificación 6311-C3 y 6211-C3 respectivamente.

Las elevadas temperaturas resultantes en la sala del grupo electrógeno puedan afectar adversamente al personal de mantenimiento, al cuadro de control y al rendimiento del grupo electrógeno. En consecuencia, se tendrá en cuenta la ventilación de la sala, necesaria para la combustión del motor diesel y la no elevación de temperatura de la sala por encima de la permisible. En los casos de refrigeración del motor en el contenedor, se necesitará un extractor, y en los casos de refrigeración del motor por radiador y ventilador, éste servirá de extractor. Idealmente, el aire limpio frío y seco circulará alrededor del cuadro de control, después fluirá a través de la parte posterior del generador, a través del motor y por último será expulsado por los extractores al medio ambiente.

La tabla que se presenta a continuación [según 3] muestra los datos principales de operación de los electroventiladores pertenecientes a los grupos electrógenos, como se observa estos ventiladores pueden ser conectados de dos formas, una de ellas es en delta ( $\Delta$ ) y la otra en estrella (Y), variando su voltaje desde 380 hasta 690 (V), de esta forma al

variar el voltaje de los mismos también varían otros parámetros donde se pueden mencionar las siguientes: frecuencia (Hz), potencia (kW.) y el número de revoluciones (r/min), esta última oscila desde 960 a 1170 aproximadamente.

Tabla: 1.3. Datos de funcionamiento de los electroventiladores.

V	Hz	kW	min <sup>-1</sup>
380 Δ	50	15	960
660 Y			960
400 Δ	50	15	965
690 Y			965
415 Δ	50	15	970
440 Δ	60	17	1160
480 Δ			1170

De estas variantes de conexión mencionadas anteriormente en nuestro país se encuentra instalada la de los 60 (Hz) ya que es la frecuencia utilizada a nivel nacional.

## 1.6. Rodamientos.

Es el conjunto de esferas [según 17] que se encuentran unidas por un anillo interior y uno exterior, el rodamiento produce movimiento al objeto que se coloque sobre este y se mueve sobre el cual se apoya.

Los nombres de cojinete de Rodamiento o simplemente rodamiento, se emplean para describir la clase de soporte de eje en el que la carga principal se transmite a través de elementos que están en contacto rodante y no deslizante, es decir, su utilización se debe a la característica de transferir las cargas entre los elementos rotatorios y los estacionarios, permitiendo la rotación relativamente libre con un mínimo de fricción.

### 1.6.1. Tipos de rodamientos.

1. Rodamientos rígidos de bolas.
2. Rodamientos de bolas a rótula.
3. Rodamientos de sección estrecha.
4. Rodamientos de rodillos cilíndricos.
5. Rodamientos de rodillos a rótula.

6. Rodamientos de agujas.
7. Rodamientos de bolas con contacto angular.
8. Rodamientos axiales de rodillos cilíndricos.
9. Rodamientos axiales de bolas.
10. Rodamientos de rodillos cónicos.
11. Rodamientos axiales de rodillos a rótula.
12. Rodamientos axiales de agujas.

De todos los tipos de rodamientos mencionados anteriormente solo se hará referencia a los rodamientos de bolas, debido a que son los que se utilizan en el electroventilador # 1 de los grupos electrógenos.

En la figura 1.1, que se presenta a continuación se muestran las cuatro partes esenciales de un rodamiento rígido de bolas de una hilera. Dichas partes son: aro externo, aro interno, elementos rodantes y separador.

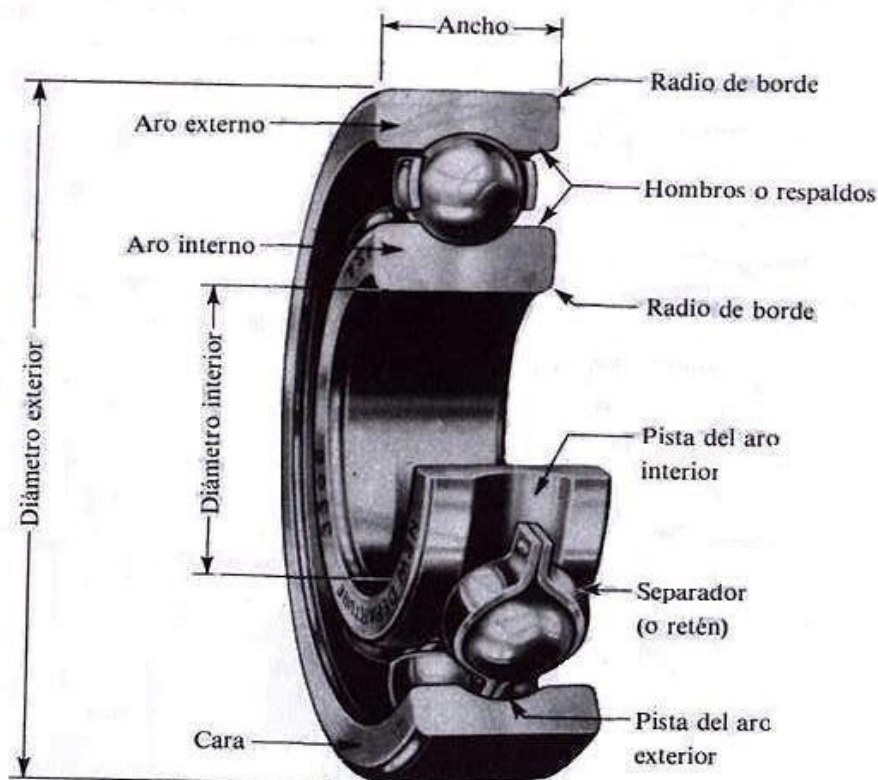


Figura 1.2. Partes esenciales del rodamiento rígido de bolas de una hilera.



En cuanto al sistema de rodamiento de estos ventiladores se puede mencionar que usan un rodamiento superior de clasificación 6311 - C3 y un rodamiento inferior 6211 - C3. Ver figura 1.3.

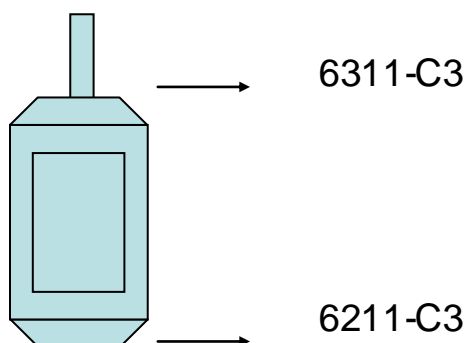


Figura 1.3. Rodamiento superior e inferior de los electroventiladores.

Los rodamientos de bolas [según 17] también llamados cojinetes de bolas, con una sola y profunda ranura, soportan cargas radiales así como una carga axial o de empuje. Las bolas se introducen en las ranuras desplazando el aro interior lateralmente a una posición excéntrica. Las bolas se separan después de su introducción y luego se inserta el separador.

En el caso particular del rodamiento radial de una hilera, se le menciona muchas veces [según 17] como rodamiento de ranura profunda. Se encuentra con muchas variaciones: protecciones o sellos sencillos o dobles. Se emplea normalmente para cargas radiales y de empuje. Es esencial una alineación cuidadosa, es decir que el máximo desalineamiento sea de  $0.5^\circ$ . Este rodamiento puede soportar una carga de empuje axial relativamente alta. Los cojinetes de bolas de una fila soportan un pequeño desalineamiento del eje, pero donde lo anterior puede ser grave, es posible utilizar cojinetes autoalineantes.

### 1.6.2. Características del rodamiento rígido de bola de una hilera.

- Tanto el anillo interior o exterior como los rodillos tienen superficie de trabajo cónica, cuyos vértices convergen en un punto común sobre el eje del rodamiento.
- Diseñados para soportar grandes cargas radiales ( $\uparrow$ ) y axiales ( $\downarrow$ ) unidireccionales, muy adecuados para maquinarias de servicios pesados sujeto a cargas de impacto.
- Generalmente se disponen dos rodamientos, espalda con espalda o cara con cara sobre un mismo eje.

- Los anillos interior y exterior independientes, facilitan el montaje y desmontaje de los mismos.

### **1.6.3. Principales ventajas de estos rodamientos.**

- El diseño abierto permite fácilmente el paso del lubricante.
- Poco peso y menor inercia de rodadura.
- Adecuados para rodamientos relativamente pequeños y grandes.
- Permite mayor número de bolas y por lo tanto mayor capacidad de carga.

### **1.6.4. Duración o vida útil de los rodamientos.**

La duración o vida útil de un cojinete en particular [según 17] se define como el número total de revoluciones, o el número de horas de giro a una velocidad constante dada, de operación del rodamiento para que se desarrolle el tipo de falla considerado. En condiciones ideales la falla por fatiga consistirá en una astilladura o descascarado de las superficies que soportan la carga. La norma de la Anti-Friction Bearing Manufacturers Association (AFBMA) indica que el criterio de falla es la primera evidencia de aparición de la fatiga. Sin embargo, se observa que la duración efectiva con frecuencia se usa como definición de la duración a la fatiga. La duración nominal es un término autorizado por la (AFBMA) y lo emplean la mayoría de los fabricantes de cojinetes. La duración nominal de un grupo de cojinetes de bolas o de rodillos evidentemente idénticos se define como el número de revoluciones, u horas a una velocidad constante dada, que 90% de un grupo de rodamientos completará o excederá antes de desarrollar el criterio de falla.

Si un cojinete se mantiene limpio y bien lubricado, [según 17] se monta y se sella contra la entrada de suciedad o polvo, se conserva en esta condición y es operado a temperaturas razonables, entonces la fatiga del metal será la única causa de falla. Puesto que esto corresponde a muchos millones de aplicaciones de esfuerzo, se aplica a tal consideración el término duración o vida del cojinete.

Al analizar el planteamiento anterior se considera que las altas temperaturas influyen en el deterioro de los rodamientos del electroventilador # 1.

### **1.6.5. Mantenimiento de los rodamientos (Almacenamiento de rodamientos).**

Para que un rodamiento funcione de un modo fiable [según 17] es indispensable que esté adecuadamente lubricado, con el objetivo de evitar el contacto metálico directo entre los elementos rodantes, los caminos de rodadura y las jaulas, evitando también el desgaste y protegiendo las superficies del rodamiento contra la corrosión, por tanto, la elección del lubricante y el método de lubricación adecuados, así como un correcto mantenimiento, son cuestiones de gran importancia.

Para evitar paradas largas en la producción debidas a fallas de rodamientos, es necesario asegurar que algunos de estos estén disponibles para la reposición. Para esto es aconsejable saber con anticipación, cuáles rodamientos son usados en las máquinas, y si son necesarias herramientas especiales para el desmontaje y montaje de los mismos.

Los rodamientos [según 17] son bañados en un protector contra oxidación, antes de ser embalados, y pueden ser almacenados en sus embalajes originales por muchos años. De preferencia deben ser almacenados en locales donde la humedad relativa no pase el 60% y la temperatura ambiente sea constante. Lógicamente no debe almacenarse en el mismo recinto ningún producto químico agresivo. Rodamientos con placas de protección, sufijo 2Z, no deberán ser almacenados por más de 2 años, y los rodamientos con placas de sellado, sufijo 2RS, por no más de 3 años. Estos rodamientos son lubricados para toda la vida, además la grasa envejece y se torna muy consistente si fueran almacenados por mucho tiempo. Se debe asegurar que los rodamientos que no estén en su embalaje original, estén limpios, bien protegidos con aceite o grasa, y envueltos en papel parafinado de buena calidad. Los rodamientos mayores deben almacenarse en posición horizontal de tal forma que quede apoyada toda su superficie frontal.

### **1.6.6. Limpieza de los rodamientos.**

Para limpiar los rodamientos [según 17] se puede usar gasolina de lavado, petróleo, alcohol de quemar y detergentes acuosos neutros o alcalinos, Debe tenerse en cuenta que la gasolina de lavado, el petróleo son inflamables y los agentes alcalinos son cáusticos. Los hidrocarburos dorados corren el peligro de ocasionar incendios, explosiones y descomposiciones, además son nocivos para la salud. Para limpiar los rodamientos pueden usarse pinceles, cepillos o trapos no deshilachados. Después del lavado y de la evaporación del detergente fresco, debe evitarse la corrosión en los rodamientos

embalándolos inmediatamente. Si los rodamientos contienen residuos de aceites o grasas, se recomienda una limpieza previa mecánica y un remojo en un detergente altamente alcalino.

Como todas las piezas importantes de una máquina, los rodamientos de bolas y de rodillos deben limpiarse y examinarse frecuentemente. Los intervalos entre tales exámenes dependen por completo de las condiciones de funcionamiento. Si es posible, se debe vigilar el estado del rodamiento durante el servicio, por ejemplo escuchando el rumor del mismo en funcionamiento y midiendo la temperatura o examinado el lubricante, normalmente es suficiente con limpiarlo e inspeccionarlo a fondo una vez al año.

#### **1.6.7. Fallas en los rodamientos.**

Dentro de las fallas principales [según 17] que se presentan en los rodamientos pertenecientes a los electroventiladores de los grupos electrógenos se pueden citar las siguientes;

1- Holgura excesiva de los rodamientos, es un leve desbalance o una pequeña falta de alineación entre las bolas y la pista del aro interior con aro exterior, trayendo consigo vibraciones, observándose este defecto principalmente en máquinas que están montadas firmemente sobre una estructura o cimentación rígidas como es el caso de estos ventiladores.

2- Rigidez en los rodamientos, en caso del ventilador presentar esta falla, el mismo debe ser detenido inmediatamente, trayendo como consecuencia la parada completa del grupo en el cual se encuentre situado el mismo, provocando un déficit de energía.

Estos rodamientos se denominan también cojinetes no hidrodinámicos. Teóricamente, estos cojinetes no necesitan lubricación, ya que las bolas o rodillos ruedan sin deslizamiento dentro de una pista. Sin embargo, como la velocidad de giro del eje no es nunca exactamente constante, las pequeñas aceleraciones producidas por las fluctuaciones de velocidad producen un deslizamiento relativo entre bola y pista, donde este deslizamiento genera calor.

Además las bolas, en su trayectoria circular, están sometidas alternativamente a cargas y descargas, lo que produce deformaciones alternantes, que a su vez provocan un calor de histéresis que habrá que eliminar

Para disminuir este fenómeno que no es más que la fricción que se produce entre los elementos móviles del rodamiento, el mismo [según 17] se debe de lubricar creando una película de lubricante entre las bolas y la pista de rodadura, simplemente por grasa o por baño de aceite, consiguiendo una mayor capacidad de disipación de calor.

## **1.7. Lubricación de los rodamientos.**

La lubricación [según 17] es uno de los factores más importantes que determinan el comportamiento de los rodamientos. Básicamente se necesita la lubricación para reducir al mínimo la fricción y el desgaste que tiene lugar entre los cuerpos sólidos durante su movimiento relativo, y al mismo tiempo sirve para evacuar el calor generado por fricción. Por lo tanto el que se utilice o no un lubricante y un método de lubricación adecuado, influye de forma crítica en la vida del rodamiento, ya que la elección de estos debe realizarse cuidadosamente de acuerdo con las condiciones de trabajo en las cuales se utilizan los rodamientos.

### **1.7.1. Funciones principales de los lubricantes en los rodamientos.**

- Reducir la fricción y desgaste entre los componentes del rodamiento durante su movimiento relativo.
- Disipar el calor generado en el rodamiento por la fricción u otras causas.
- Evitar el óxido y la corrosión, en y sobre, las superficies del rodamiento.
- Proteger el rodamiento de la contaminación por suciedad y materias extrañas.

### **1.7.2. Condiciones del lubricante para que cumpla sus funciones.**

- Tenga una resistencia de película adecuada.
- Sea estable a altas temperaturas.
- Tenga un coeficiente de fricción mínimo.
- Esté exento de componentes abrasivos.
- Sea anticorrosivo.
- Esté libre de polvo y agua.
- Tenga una viscosidad adecuada en el caso de aceite, y en caso de grasas debe presentar una penetración y estabilidad adecuada después de haber sido trabajada repetidamente, así como un punto de goteo adecuado.

## **1.8. Influencia de los gases de escape.**

Con los problemas a nivel mundial a los cuales nos enfrentamos actualmente, problemas [según 6] de tipo político, económico, social etc, dejamos de lado uno con el que tenemos contacto más cercano, el problema de la contaminación, un problema que nosotros creamos e incrementamos de forma gradual todos los días.

El interés actual en el medio que nos rodea ha surgido en un momento en que las energías de los países en desarrollo se dedican cada vez más a alcanzar la meta del desarrollo. El interés en las cuestiones relacionadas con el ambiente ha tenido su origen en los problemas experimentados por los países industrialmente adelantados. Estos problemas son el resultado de un nivel elevado de desarrollo económico. La creación de una gran capacidad de producción en la industria y en la agricultura, el crecimiento de sistemas complejos de transporte y comunicaciones, la rápida evolución de los conglomerados humanos, han causado daños y perturbaciones en el medio ambiente. Estas perturbaciones han llegado a alcanzar tales proporciones que en muchos sitios constituyen ya un grave peligro para la salud y el bienestar humano.

En muchos lugares del país, es tal la contaminación del medio ambiente en general (aire, agua, tierra, etc.), que se está minando la salud de muchas personas. Esto se debe, entre otros factores, a los cambios anteriores y actuales en las modalidades de consumo y producción, a los estilos de vida, la producción y utilización de energía, la industria, el transporte, etc., que no tienen en cuenta la protección del medio ambiente.

Cada año, los países industriales generan miles de millones de toneladas de contaminantes. Los contaminantes atmosféricos más frecuentes y más ampliamente dispersos son el monóxido de carbono, el dióxido de azufre, los óxidos de nitrógeno, el ozono, el dióxido de carbono o las partículas en suspensión. El nivel suele expresarse en términos de concentración atmosférica (microgramos de contaminantes por metro cúbico de aire) o, en el caso de los gases, en partes por millón, es decir, el número de moléculas de contaminantes por millón de moléculas de aire. Muchos contaminantes proceden de fuentes fácilmente identificables; el dióxido de azufre, por ejemplo, procede de las centrales energéticas que queman carbón o petróleo. Otros se forman por la acción de la luz solar sobre materiales reactivos previamente emitidos a la atmósfera (los llamados precursores). Por ejemplo, el ozono, un peligroso contaminante que forma parte del smog, se produce por la interacción de hidrocarburos y óxidos de nitrógeno bajo la influencia de la luz solar. El ozono ha producido también graves daños en las cosechas. Por otra parte,

el descubrimiento en la década de 1980 de que algunos contaminantes atmosféricos, como los clorofluorocarbonos o (CFC), están produciendo una disminución de la capa de ozono protectora del planeta ha conducido a una supresión paulatina de estos productos.

En el caso particular del monóxido de carbono [según 6] es el principal contaminante del aire en las áreas urbanas. Este gas tan perjudicial para la salud se produce por la incompleta combustión del carbón contenido en el combustible o al quemar carbono o sustancias compuestas de carbono con una cantidad insuficiente de aire.

Debido a su falta de olor, el monóxido de carbono es un veneno engañoso. Solo produce ligeros síntomas de dolor de cabeza, náuseas o fatiga, seguidos de estado de inconsciencia cuando se encuentra en grandes cantidades. Los combustibles gaseosos, que pueden llegar a contener hasta un 50% de monóxido de carbono, suelen llevar pequeñas cantidades de compuestos de azufre de olor desagradable con el propósito de detectar posibles fugas.

# CAPÍTULO II

## **2. Análisis de la modificación en el conducto final de los gases de escape.**

El objetivo principal del capítulo es realizar un análisis sobre la influencia de la modificación en el conducto final de los gases de escape en el deterioro del sistema sello-rodamiento del electroventilador # 1 de los grupos electrógenos MTU BR 4 000 16V G81.

### **2.1. Análisis de las causas que provocan el deterioro de los rodamientos superiores del electroventilador # 1 antes de la modificación.**

La falla principal que se muestra en el electroventilador #1 principalmente es el deterioro en sus rodamientos, donde estos por las exigencias de diseño y de explotación deben ser (6311- C3 rodamiento superior y 6211- C3 rodamiento inferior).

Al analizar las fallas en los electroventiladores, se determinó que de los tres que forman parte de estos grupos electrógenos solo el #1 se ve afectado por la influencia de los gases de escapes, además de determinar que la principal causa que ocasiona este deterioro son las altas temperaturas registradas en el mismo producidas por los propios gases.

De forma general el intervalo entre engrases [según 11] para los rodamientos montados en estos motores, a la velocidad de 1200 rpm y considerando una temperatura promedio del rodamiento inferior a 90°C y una temperatura ambiente de aproximadamente hasta 40°C es de 4900h si el trabajo lo realizan horizontalmente; pero en el caso del trabajo con montaje vertical dicho tiempo se divide por 2, es decir., 2450 h y ajustando este tiempo al plan de mantenimientos (Propuesto por Geysel) se fija en 3000 h el tiempo entre reengrases.

--- Dentro de los factores que determinan que los rodamientos superiores de los electroventiladores #1 se dañen antes de las 3000h de operación (reengrase) se pueden mencionar los siguientes:

- La temperatura alcanzada en la zona exterior del alojamiento del rodamiento es superior a los 94 °C.



- La temperatura del medio ambiente considerada para fijar el intervalo entre engrases en 3000 h es de 40 °C, pero en el caso de los electroventiladores que quedan debajo de la punta del tubo de escape (electroventiladores #1) se mide una temperatura promedio de 96 °C en la punta del eje, mientras que en los otros (2) no se alcanzan los 40 °C, por lo que el tiempo entre engrases se afecta.

- Entrada de agua al rodamiento, debido a que los sellos se deterioran producto a estas altas temperaturas ocasionadas por los gases de escape.

--- Causa del aumento de la temperatura en la zona superior del electroventilador #1:

En el centro de los ventiladores axiales se produce una depresión la cual en este caso hace descender los gases calientes que salen por el tubo de escape hasta tocar el mismo centro del ventilador #1 para luego ascender rápidamente producto al fenómeno de la convección y al flujo de aire del ventilador, además, producto a la radiación se transmite el calor hasta el motor del ventilador. Se considera que esto sucede como se describió en el capítulo 1 por un mal diseño en el conducto final de la tubería de escape de estos grupos electrógenos.

El aumento de la temperatura reduce el tiempo de reengrase del electroventilador #1 a las 1125 h de trabajo mientras que en los otros dos ventiladores el tiempo de reengrase es el establecido por la empresa que planifica los mantenimientos y es a las 3000 h planificadas.

Para darle solución a este problema relacionado con el deterioro de los rodamientos del electroventilador #1 se realiza la modificación en el conducto de escape con el fin de eliminar las altas temperaturas producidas en la parte superior de estos ventiladores.

La modificación realizada consiste en aumentar en un metro la longitud del conducto final de los gases de escape, el mismo se conformó con un ángulo de curvatura de 90 grados (ver figura 2.2 y 2.3) para evitar que los gases al salir influyan directamente sobre los rodamientos del electroventilador # 1.

En la (figura 2.1) que se muestra a continuación se observa el conducto final de los gases de escape antes de la modificación. En la misma se puede observar el deterioro de los electroventiladores de la posición #1, es decir, los que se encuentran ubicados debajo del

conducto de escape, en el mismo se puede también observar los restantes (2) ventiladores que se encuentran en el grupo donde no presentan afectaciones por estos gases, siendo esta la razón por la cual se decide poner en práctica la modificación mencionada para este conducto final. Otro de los elementos que se observa en la figura es que desde el inicio del diseño de estos grupos y en particular el conducto de escape, no se cumplió con una de las condiciones generales para su instalación, pues la tubería se debió construir con un recubrimiento de aluminio o de acero inoxidable, por esta causa en muchos de los emplazamientos de la provincia a los cuales no se le han desarrollado la modificación la parte final de conducto de gases de escape se están deteriorando producto a la corrosión.



Figura 2.1. Conducto de escape antes de la modificación.

## 2.2. Análisis de la influencia de la modificación del conducto final de los gases de escapes en los rodamientos del electroventilador # 1.

Hasta la fecha en la provincia de Holguín no se le han realizado las modificaciones en los escapes a todos los grupos electrógenos, es decir, solo se ha puesto en práctica esta modificación en 17 de un total de 99 grupos de la serie 4000 que hay en la provincia.

Teniendo en cuenta estos grupos electrógenos donde se han desarrollado las modificaciones se puede afirmar que a pesar del poco funcionamiento en nueve meses de trabajo y puesta en marcha los electroventiladores #1 no han presentado problemas en sus rodamientos.

Se espera que al ser eliminada la causa del sobrecalentamiento con la puesta en marcha de la modificación estos ventiladores #1 no presenten nuevamente problemas en sus rodamientos por esta causa y de esta forma su tiempo de reengrase no sea reducido a las 1125 horas y se equilibre con los restantes (2) electroventiladores del grupo a las 3000 horas de trabajo.

En la tabla 2.1 que se presenta a continuación se muestran las horas de trabajo de los grupos electrógenos a los cuales se les han realizado las modificaciones en el conducto final de los gases de escape en la provincia de Holguín, con el objetivo de eliminar las altas temperaturas provocadas por los propios gases.

Tabla: 2.1. Horas trabajadas por cada grupo electrógeno.

<b>Moa</b>	<b>Caridad</b>	<b>Holguín 110</b>	<b>Holguín 220</b>
2 - 626	2- 378	1- 291	1- 463
7 - 22	3- 416	2- 196	2- 548
	5- 854	3- 736	3- 692
		4- 1029	5- 579
		5- 2753	
		6- 324	
		7- 2439	
		8- 987	

Como se observa en la tabla anterior existe una diferencia significativa en cuanto a las horas de trabajo de cada grupo, esta diferencia está marcada puesto que cada batería no presenta la misma disponibilidad, además la localidad en que se encuentran ubicados estos grupos no presentan la misma demanda de energía, y es por ello que en las horas de trabajo de cada equipo se observa una diferencia en cuanto a su tiempo de funcionamiento.

En forma de comparación y teniendo en cuenta aproximadamente los nueve meses antes y después de la modificación se puede citar que:

1. Antes de la modificación teniendo en cuenta este mismo intervalo de tiempo de funcionamiento se presentaron fallas en el sistema sello- rodamiento, de estos se pueden citar los siguientes:

Holguín 110: G5. Deterioro en el rodamiento superior. Detectado: 17/2/2011.

Holguín 110: G7. Deterioro en el rodamiento superior. Detectado: 23/12/2010.

Holguín 110: G4. Deterioro en el rodamiento superior. Detectado: 19/11/2010.

Caridad: G5. Deterioro en el sello de goma del rodamiento superior. Detectado: 12/4/2011

2. Después de la modificación, teniendo en cuenta el tiempo de funcionamiento de cada grupo; no han presentado problemas en sus rodamientos.

Como se observa anteriormente los grupos en los cuales se detectaron fallas en los rodamientos fueron a los cuales se le realizaron las primeras modificaciones y los mismos son los que hasta la fecha tienen más tiempo de funcionamiento y teniendo en cuenta el tiempo a partir de esta modificación no se han detectado fallos en los mismos, a pesar que no han llegado aún a las 3000 horas para su primer mantenimiento ligero.

Después de realizar la modificación, en los 17 grupos electrógenos de la Provincia; no se han detectado fallas en los rodamientos de los electroventiladores # 1, a pesar que el máximo de horas trabajadas es de 2753, llegando a la conclusión que hasta el momento esta modificación ha influido de forma positiva en la disminución de las fallas.

En las figuras (2.2) y (2.3) que se presentan a continuación se observa el conducto final de los gases de escape de los grupos electrógenos luego de ser realizada la modificación en los mismos. Hasta la fecha los grupos a los cuales se les han realizado las modificaciones no han presentado problemas en los ventiladores. Se considera que estos

grupos debieron ser diseñado con el conducto de escape en posición vertical con el objetivo de impulsar los gases lo más retirado posible del área de trabajo de los operarios y que al realizarse la modificación en nuestra Provincia también violaron uno de los requisitos tecnológicos fundamentales que es la de construir una caperuza para el extremo final de la tubería de escape, en algunas modificaciones se realizaron y en otras no, siendo de vital importancia pues al encontrarse estos conductos en posición vertical se debe evitar que el agua de lluvia u otro elemento, penetre dentro de la chimenea y perjudique el funcionamiento correcto del motor.



Figura 2.2. Modificación en el conducto final del escape sin caperuza.



Figura 2.3. Modificación en el conducto final del escape con caperuza.

### **2.3. Generalidades de las fallas en el electroventilador.**

Para la investigación se definirá la falla [según 10] por la disminución o pérdida de la función del componente con respecto a las necesidades de operación que se requieren para un momento determinado. Es la incapacidad de cualquier elemento físico de satisfacer un criterio de funcionamiento deseado. Esta condición puede interrumpir la continuidad o secuencia ordenada de un proceso, donde ocurren una serie de eventos que tienen más de una causa.

A menudo procesos tales como: corrosión, sobrecalentamiento, fatiga entre otros, se superponen e interactúan los unos con los otros y causan un cambio en el sistema, como resultado del cual cambiarán sus características de actuación. La desviación de esas características respecto a los valores especificados es considerada como falla del sistema.

La falla del sistema o del equipo [según 15] puede ser definido como la pérdida de capacidad para realizar las funciones requeridas, o bien la pérdida de capacidad para satisfacer los requisitos especificados, es decir, al presentar problemas los rodamientos de los ventiladores, los mismos deben ser detenidos inmediatamente y poniendo de baja el grupo electrógeno en general.

Cualquier cambio en el tamaño, la forma o las propiedades del material de una estructura, una máquina o parte de una máquina que la haga incapaz de realizar la función para la que fue diseñada, se denomina una falla o inutilización mecánica del dispositivo, en este caso se debe hacer referencia a cualquiera de los fallos de los rodamientos de estos ventiladores, donde al presentar algunos de estos se ponen de baja inmediatamente.

### **2.3.1. Tipos de fallas.**

- Falla funcional: Es la capacidad de cualquier elemento físico de no satisfacer un criterio de funcionamiento deseado. Por ejemplo, un equipo deja de funcionar totalmente.
- Fallas parciales: 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.

Las fallas que ocurren en los rodamientos del electroventilador están relacionadas con las fallas parciales.

### **2.3.2. Categorías dentro de las cuales se pueden ubicar las fallas.**

- Defectos de diseño.
- Defectos de materiales.
- Manufactura o procesos de fabricación defectuosos.
- Ensamblaje o instalación defectuosos.
- Imprevistos en las condiciones de servicio.
- Mantenimiento deficiente.
- Ineficiente operación.

Se considera que el deterioro de los rodamientos está relacionado con los imprevistos en las condiciones de servicio, pero la influencia de los gases de escape sobre los mismos está relacionada con defectos de diseño.

## **2.4. Mantenimiento del electroventilador.**

Para el desarrollo de este mantenimiento [según 11] se utiliza el mantenimiento preventivo planificado (MPP) donde implica la restauración de la capacidad de trabajo del electroventilador (precisión, potencia, rendimiento) y de su comportamiento (índices de consumo, vibraciones), mediante el mantenimiento técnico racional, cambio y reparación de las piezas y conjuntos desgastados, realizados conforme a un plan elaborado con anterioridad.

El sistema de mantenimiento preventivo [según 2] es el conjunto de medidas de carácter técnico y organizativas mediante las cuales se lleva a cabo la reparación y el mantenimiento de los equipos, estas se elaboran previamente según un plan que asegura el trabajo constante de los equipos y con esto se evitan o se reducen las paralizaciones por roturas.

Este sistema se basa en la inspección y la revisión periódica de la maquinaria según un programa de mantenimiento detectando y corrigiendo los problemas potenciales antes que se produzcan.

Este mantenimiento se utiliza normalmente teniendo en cuenta las horas de funcionamiento y basándose en información estadística, se procede a desmontar una parte de la máquina para una completa revisión. Este tipo de mantenimiento puede planificarse tanto en repuestos como en mano de obra. No obstante requiere una revisión más amplia de lo necesario con cambio de piezas que podrían continuar operando muchas más horas.

Como todos los equipos que se encuentran en funcionamiento el electroventilador también dispone de un plan de mantenimiento donde este se divide y se realiza de la siguiente forma. (Luego de la puesta en marcha).

(Plan de mantenimiento):

- 1- Primer mantenimiento: 3000 h de trabajo, (mantenimiento ligero).
- 2- Segundo mantenimiento: 6000 h de trabajo, (mantenimiento medio).
- 3- Tercer mantenimiento: 9000 h de trabajo, (mantenimiento general).

A continuación se mencionara el orden y las actividades a desarrollar en cada mantenimiento.



► Mantenimiento ligero a las 3000 h de trabajo

1. Estado vibracional. Velocidad, aceleración, envolvente y espectro.
2. Pruebas con el meguer. Raisl. y Ka con 500v.
3. Desmontaje del ventilador y tapa superior. Limpieza de tapa y rodamiento.
4. Medición de ajuste del rodamiento a la tapa.
5. Defectación del bobinado por el lado superior.
6. Reengrase del rodamiento superior.
7. Montar tapa superior y ventilador, cambio de sello obturador.
8. Limpieza y revisión de regleta y conexiones. Comprobar hermeticidad de caja terminal. Cambio de junta y tornillería de ser necesario.
9. Desmontar tapa del ventilador, ventilador y retenedor de grasa por el lado inferior.
10. Limpieza de retenedor.
11. Reengrase de rodamiento inferior.
12. Montar retenedor, ventilador y tapa del ventilador inferior.
13. Pruebas con el meguer. Raisl. y Ka con 500v.
14. Hacer prueba con el meguer (con 500v) desde el desconectivo del motor.
15. Comprobar cables y conexiones. Corregir defectos.
16. Comprobar fijación del soporte del electroventilador.
17. Comprobar tornillería, cambio de ser necesario.
18. Pintura anticorrosiva y de esmalte.
19. Medir corriente por fase.
20. Estado vibracional. Velocidad, aceleración, envolvente y espectro.

► Mantenimiento medio a las 6000 h de trabajo

1. Estado vibracional. Velocidad, aceleración, envolvente y espectro.
2. Comprobar calibración del desconectivo.
3. Pruebas con el meguer. Raisl. y Ka con 500v.
4. Medición de resistencia del devanado.
5. Desmontaje de ventilador y tapa superior. Limpieza de tapa y rodamiento.
6. Medición de ajuste del rodamiento a la tapa. Encamisar de ser necesario.
7. Defectación del bobinado por el lado superior.
8. Reengrase del rodamiento superior. Cambio de ser necesario.
9. Montar tapa superior y ventilador, cambio de sello obturador.

10. Limpieza y revisión de regleta y conexiones. Comprobar hermeticidad de caja terminal. Cambio de junta y tornillería de ser necesario.
  11. Desmontar tapa del ventilador, ventilador y tapa inferior.
  12. Defectación del bobinado por el lado inferior.
  13. Limpieza de tapa, cubierta del ventilador y rodamiento inferior.
  14. Comprobar tornillería, cambio de ser necesario.
  15. Medición de ajuste del rodamiento a la tapa. Encamisar de ser necesario.
  16. Reengrase de rodamiento inferior. Cambio de ser necesario.
  17. Montar tapa inferior, ventilador y tapa del ventilador.
  18. Pruebas con el meguer. Raisl. y Ka con 500v.
  19. Hacer prueba con el meguer (con 500v) desde el desconectivo del motor.
  20. Comprobar cables y conexiones. Corregir defectos.
  21. Comprobar fijación del soporte del electroventilador.
  22. Pintura anticorrosiva y de esmalte.
  23. Medir corriente por fase.
  24. Estado vibracional. Velocidad, aceleración, envolvente y espectro.
- Mantenimiento general a las 9000 h de trabajo
1. Estado vibracional. Velocidad, aceleración, envolvente y espectro.
  2. Desconexión de cables de fuerza y mediciones.
  3. Comprobar calibración del desconectivo.
  4. Desmontaje (con la estructura soporte) y transportación.
  5. Desarme.
  6. Pruebas con el meguer. Raisl. y Ka con 1000v.
  7. Medición de resistencia y espiras.
  8. Limpieza a partes mecánicas.
  9. Lavado y secado.
  10. Defectación del acero activo del rotor y el estator. Corregir defectos.
  11. Defectación del bobinado y acuñado. Corregir defectos.
  12. Defectación visual del barnizado.
  13. Barnizado de ser necesario:
    - Barnizado de impregnación.
    - Secado.
    - Barnizado de recubrimiento.
    - Secado.

14. Medición del ajuste del rodamiento en el eje y la tapa.
15. Medición del ajuste del ventilador al eje. Corregir defecto.
16. Encamisar o encasquillar de ser necesario.
17. Montaje y lubricación de rodamientos nuevos (sellados por ambas caras preferiblemente).
18. Arme. Cambio de juntas y sellos.
19. Cambio de tornillería defectuosa.
20. Reparar roscas defectuosas.
21. Pruebas con el meguer. Raisl. y Ka con 1000v.
22. Medición de resistencia y espiras en cc, si se trabajo en el devanado.
23. Pintura anticorrosiva y de esmalte.
24. Transportación, montaje y conexiones de fuerza y mediciones.
25. Comprobar cables y conexiones. Corregir defectos.
26. Hacer prueba con el meguer (con 500v) desde el desconectivo del motor.
27. Hacer balanceo en el lugar.
28. Medir corriente por fase.
29. Estado vibracional. Velocidad, aceleración, envolvente y espectro.

## **2.5. Contribución del trabajo de diploma a la defensa de la patria.**

Los grupos electrógenos tanto de la serie 4000 como los de la 2000 instalados de forma aislada o en baterías no tienen una contribución significativa en la defensa de nuestra patria, pues estos, debido a que son objetivos específicos del enemigo debido al punto tan importante que representan en nuestra economía del país ya que tienen como objetivo principal el apoyo a la red eléctrica nacional estos grupos en caso de una posible agresión deben ser desmontados inmediatamente y trasladados al centro de la ciudad, a lugares donde los mismos serán protegidos durante la agresión y luego de este posible ataque al no contar con el apoyo directo de las termoeléctricas es donde estos equipos desempeñarán su papel más importante y es el de poner en funcionamiento el sistema eléctrico nacional. A pesar de que en este caso de una posible agresión estas series de grupos electrógenos no puedan brindar un apoyo durante la misma, sí existen en nuestro país una determinada cantidad de pequeños grupos donde tienen como función específica el apoyo energético a una institución determinada y en este caso si pueden prestar apoyo directo a la empresa o local donde se encuentren en caso de agresión y este es el caso de

hospitales, unidades militares y demás organismos del país. Por último se puede citar el ejemplo de nuestro armamento, que hoy en día cuenta con un grupo de tanques de combate donde estos en su interior tienen instaladas pequeñas baterías que no son más que grupos electrógenos que le brindan apoyo a estos equipos en caso de cualquier dificultad.

## **2.6. Valoración del impacto ambiental.**

A partir de la influencia negativa que ejercen los grupos electrógenos en el medio ambiente [según 13] la empresa de generación distribuida ha tomado una serie de medidas para disminuir su impacto, las cuales se mencionan a continuación:

- Se deben eliminar ecológicamente las materias de servicio y filtros con arreglos a las disposiciones vigentes en el lugar de empleo.
- La manipulación en el sistema de inyección o de regulación solo se debe realizar en casos necesarios, pues esta influye en la potencia y emisión en los gases de escape del motor, no garantizándose ya el cumplimiento de las condiciones legales impuestas relativas al medio ambiente.
- Únicamente deben ser empleados carburantes/combustibles de la calidad prescrita con el fin de alcanzar los valores límites de emisión.
- Para la prevención de incendios se deben eliminar inmediatamente las fugas de combustibles o de aceites, e incluso salpicaduras de estos sobre piezas calientes pueden ocasionar incendios provocando elevadas pérdidas para la empresa. Además no se debe efectuar ninguna soldadura en tubos y componentes que contengan aceites o combustibles y en caso de efectuar algún tipo de soldadura se debe limpiar con líquidos no inflamables. También en cada grupo electrógeno de forma aislado o en baterías se deben tener a disposición materiales extintores adecuados y estar familiarizados en su manejo.
- Como medida fundamental para reducir este impacto directamente en las personas, estos grupos electrógenos deben ser instalados en lugares distantes donde no causen molestias.

Otra de las formas en que esta empresa contribuye con la protección del Medio Ambiente es a la hora del empleo de materiales de servicios y auxiliares, donde para cumplir con este parámetro se deben emplear solamente materiales de servicios analizados y autorizados por MTU, estos deben ser guardados en recipientes adecuados y correctamente señalados, al manejar estas materias y otras sustancias químicas se deben observar las normas de seguridad vigente para el producto, proceder con cuidado al manejar sustancias calientes, sobre enfriadas o cáusticas y al manejar materias inflamables impedir el contacto con fuentes de incendio. Entre estos materiales podemos citar el plomo, ácidos y lejías, pinturas o lacas, nitrógeno líquido, aire comprimido y aceites usados.

De esta forma y cumpliendo con estas medidas la empresa contribuye a reducir al máximo la influencia del impacto negativo hacia el medio ambiente en general.

## **2.7. Medidas de seguridad e higiene del trabajo en los grupos electrógenos.**

Para analizar las medidas de seguridad adoptadas por la empresa de generación distribuida, a la hora del trabajo [según 13] en los grupos electrógenos; estas se han dividido en diferentes áreas:

a) Medidas de seguridad para la protección del personal encargado.

1- Exigir al personal: los trabajos que haya que efectuar en el motor deberán ser ejecutados solamente por el personal especializado, formado e instruido. Se deberá observar la edad mínima de los operarios establecida por la ley. También se tendrán que fijar las competencias del personal en materia de manejo, mantenimiento y reparaciones.

2- Ropa de trabajo y equipo de protección: en todos los trabajos realizados ponerse la ropa adecuada que tenga en cuenta aspectos de seguridad. Según el tipo de trabajo se debe llevar equipo de protección adicional, por ejemplo, gafas protectoras, guantes, cascos protectores etc. La ropa de trabajo también debe estar bien ajustada de manera que no pueda prenderse en piezas salientes o en rotación, no llevar joyas puestas como anillos y cadenas.

b) Medidas de seguridad para el mantenimiento y reparación.

1- Disposición de seguridad para la puesta de servicio:

- Antes de proceder a la primera puesta en servicio del producto, este debe ser montado conforme a lo prescrito, teniendo en cuenta algunos aspectos esenciales, ejemplo, deben estar terminados todos los trabajos de mantenimiento y reparación, todas las piezas sueltas deben ser apartadas de las piezas rotatorias de la máquina y no se debe encontrar nadie en las zonas de peligro de estas piezas.

## 2- Trabajos de soldadura:

- Está prohibido efectuar soldaduras en el motor o en grupos o piezas cercanos a este.
- No poner nunca el cable de soldar encima de mazos de cables de las plantas matrices (MTU) o cerca de ellos.
- Si hay que efectuar soldaduras en componentes, ejemplo, en el tubo de escape, se deberán desmontar antes estos componentes del motor.

## 3- Trabajos en grupos de construcciones eléctricas:

- Antes de efectuar trabajos en estos grupos es necesario desconectar la alimentación de corriente de las zonas correspondientes.
- Los gases que emanan de la batería son explosivos, por lo tanto se debe evitar la formación de chispas y llamas libres, además de no dejar que ese ácido entre en contacto con la piel o la ropa.
- No deteriorar el cableado durante los trabajos de desmontajes o montajes de estos.
- No unir el cableado a tuberías que conduzcan líquidos.

## 4- Trabajo con equipos láser.

- Al realizar trabajos con estos equipos se deben de llevar gafas de protección contra radiaciones láser especiales.
- Los equipos láser deben estar dotados de los dispositivos.

## 5- Trabajos de mantenimiento y reparaciones específicas.

- Utilizar solamente herramientas adecuadas y calibradas respectivamente.
- No trabajar en motores o componentes que estén sostenidos solamente por dispositivos elevados o grúas.
- No recurrir nunca un conducto de inyección de combustible.
- Prestar atención a líquidos calientes en conductos, ejemplo, tubos y cámaras.
- Al cambiar el aceite del motor o al trabajar en el sistema de carburante/combustible se debe ventilar bien la sala de máquinas.

# CONCLUSIONES

1. La modificación en los conductos de los gases de escape de los grupos electrógenos MTU BR 4000 16 V G 81 disminuyó las fallas en el electroventilador # 1 hasta el mes de junio del 2011.
2. Las altas temperaturas alcanzadas en la parte superior del electroventilador # 1 es la causa del deterioro de los sellos de goma de los rodamientos, con el posterior deterioro de los mismos.

# RECOMENDACIONES

1. La empresa de generación distribuida utilice este trabajo para el análisis de las fallas del electroventilador #1.
2. Continuar el estudio de la influencia de esta modificación en las fallas del electroventilador #1 hasta las 3000 h de funcionamiento.
3. Se realice un estudio de la influencia de los gases de escape sobre los radiadores de los grupos electrógenos, tanto de la serie 4000 como los de la 2000.



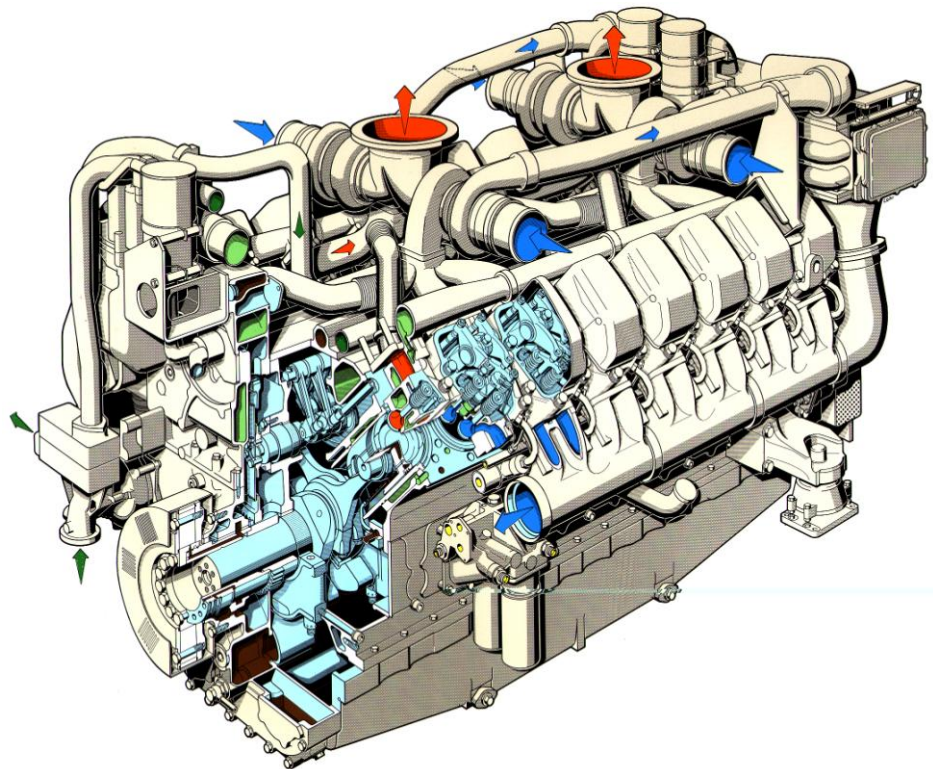
# BIBLIOGRAFÍA

1. Arias Paz. Manual de Automóviles. Edición 55. Motores Diesel.
2. Batista Rodríguez Carlos. Conferencia No 4 Política y sistema de mantenimiento.
3. Características principales de funcionamiento del electroventilador de los grupos electrógenos: <http://es.wikipedia.org/wiki/electroventilador>. Consultado en Febrero/2011.
4. Castro Ruz Fidel. [2006] Discurso de inauguración de los grupos electrógenos en Pinar del Río 17 de Enero. Periódico Granma 18 de Enero. Consultado en Abril 2011.
5. Componentes del automóvil: <http://es.wikipedia.org/wiki/categoria>: Consultado en marzo/ 2011.
6. Contaminación ambiental. Biblioteca Encarte 2005. Consultado en Mayo 2011.
7. Electroventiladores en los grupos electrógenos: <http://www.eumed.net/libros/2011b/946/>. Consultado en Junio/2011.
8. Importancia de los grupos electrógenos en Cuba: Sitio <http://www.cubavisión.cubaweb.cu>. Consultado en Febrero/2011.
9. Instalación de Grupos Electrógenos. <http://es.scribd.com/doc/16722603/Instalacion-de-Grupos-Electrogenos>. Consultado en Julio/2011.
10. Knezevic, Jezdimir. [1995] Mantenibilidad.
11. Manual de instrucciones de servicio: grupos electrógenos MTU BR 4000 16 V G 81. 2005.
12. Manual MTU. [2005]. Motor Diesel serie MTU BR 4000 16 V G 81. 2005.

13. Manual MTU. [2005]. Prescripciones de las materias de servicio motor Diesel.
14. Motores Diesel. <http://www.hispanomotor.com>. Consultado en Marzo/2011.
15. Myer, Kutz. [1995] Enciclopedia e la Mecánica Ingeniería y Técnica. Tomo 1 y 2.
16. Principio de funcionamiento del motor: [http://es.wikipedia.org/wiki/motor de combustión interna](http://es.wikipedia.org/wiki/motor_de_combustión_interna). Consultado en Febrero/2011.
17. Rodamientos. Operaciones industriales. Mecánica. Cojinete. Tipos de rodamientos. Bolas. Rodillos. Empuje. Lubricadores. Mantenimiento. [http://html.rincondelvago.com/rodamientos\\_1.html](http://html.rincondelvago.com/rodamientos_1.html). Consultado en Enero/2011.
18. Sistema de distribución de los gases y sistema de enfriamiento: [http://es.wikipedia.org/wiki/sistemas del automóvil](http://es.wikipedia.org/wiki/sistemas_del_automóvil). Consultado en Febrero/2011.
19. Ventilación en grupos electrógenos.  
[http://www.miliarium.com/Proyectos/Pliegos/AyuntamientoMadrid/Generadores Emergencia.asp](http://www.miliarium.com/Proyectos/Pliegos/AyuntamientoMadrid/GeneradoresEmergencia.asp). Consultado en Julio/2011.

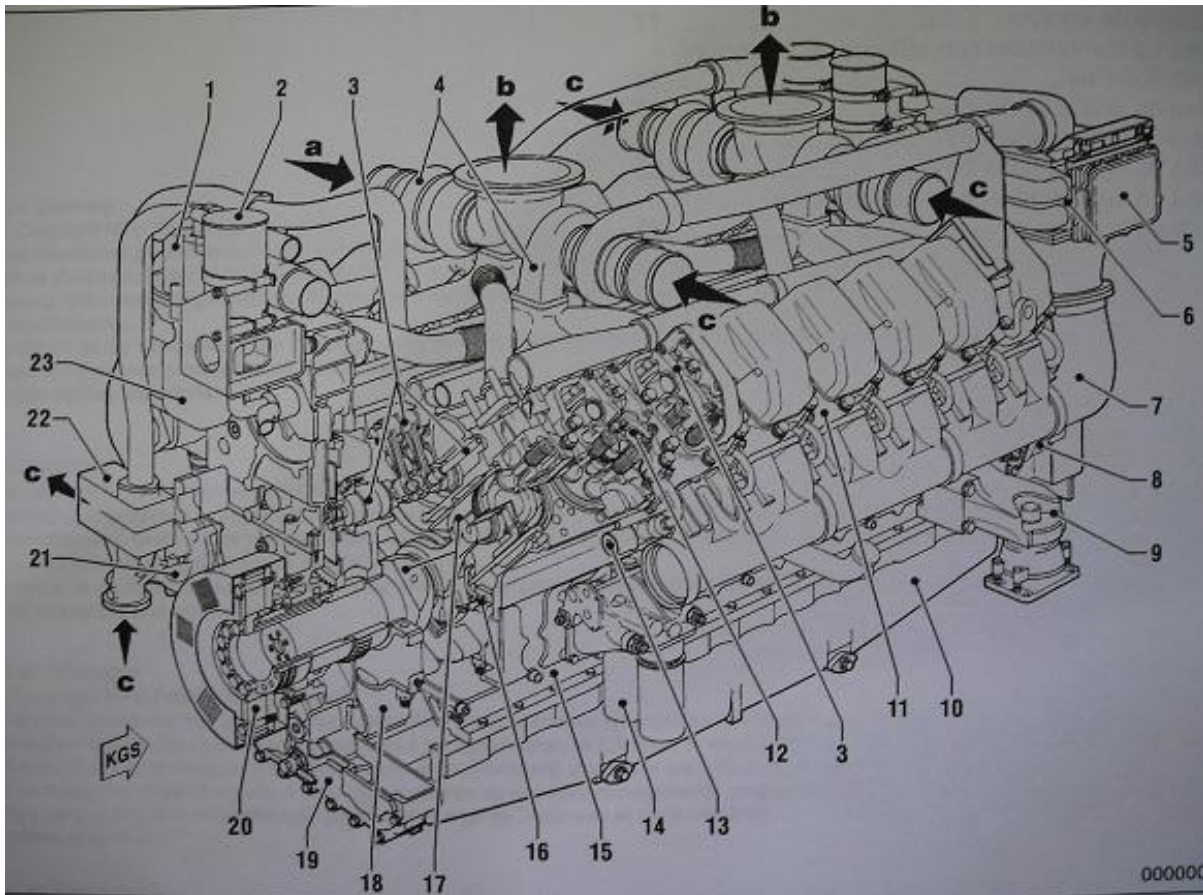
# ANEXOS

Anexo # 1: Motor de los grupos electrógenos MTU BR 4000 16 V G 81.



## Leyenda de colores

- Aire
- Combustible
- Gases de escape
- Aceite de motor
- Líquido refr. aire de carga
- Líquido refrigerante del motor



Leyenda:

- 1) Intercambiador de calor del aceite del motor.
- 2) Purga de aire del bloque motor.
- 3) Distribución por válvulas.
- 4) Turbocompresor por gases de escape.
- 5) Sistema de gestión electrónica del motor.
- 6) Refrigerador del aire de sobrealimentación.
- 7) Tubo de alimentación de aire.
- 8) Motor de arranque.
- 9) Apoyos del motor.
- 10) Cáster de aceite.
- 11) Culata.
- 12) Inyector de combustible.
- 13) Sistema Common Rail.
- 14) Filtro de combustible.
- 15) Bloque motor.
- 16) Conducto de aceite de refrigeración del pistón.
- 17) Grupo propulsor.
- 18) Bomba de aceite del motor.
- 19) Soporte para elemento agregado.
- 20) Antivibrador.

- 21)** Bomba del líquido refrigerante del aire de sobrealimentación.
- 22)** Regulador de la temperatura del líquido refrigerante del aire de sobrealimentación.
- 23)** Carcaza de distribución del líquido refrigerante.

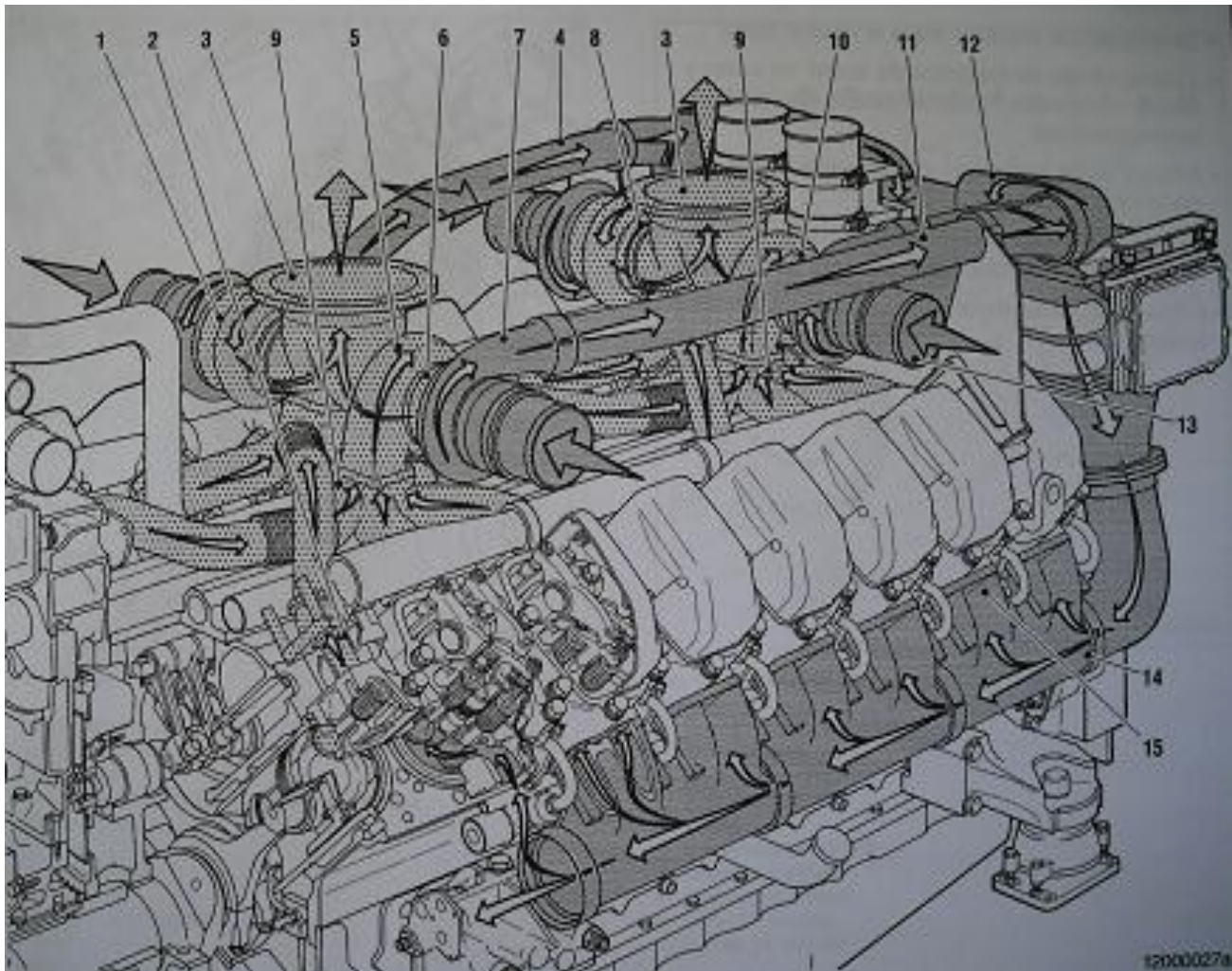
- a- Aire.
- b- Gases de escape.
- c- Líquido refrigerante del aire e sobrealimentación.

KS- Lado de accionamiento.

KGS- Lado libre.



**Anexo # 2:** Esquema del sistema de distribución de los gases del motor de los grupos electrógenos MTU BR 4000 16 V G 81.



(Leyenda):

- 1) Turbocompresor por gases de escape, lado derecho (KGS).
- 2) **Conducto de escape central.**
- 3) Guiado de gases de escape.
- 4) Tuvo de aire de sobrealimentación del lado derecho.
- 5) Carcaza de la turbina.
- 6) Turbocompresor por gases de escape, lado izquierdo (KGS).
- 7) Carcaza del compresor.
- 8) Turbocompresor por gases de escape, lado derecho (KGS).
- 9) Tubería colectora de gases escape.
- 10) Turbocompresor por gases de escape, lado izquierdo (KS).
- 11) Tubo de aire de sobrealimentación, lado izquierdo.
- 12) Refrigerador del aire de sobrealimentación.
- 13) Tubería de aspiración de aire.
- 14) Tubo de alimentación de aire.
- 15) Conducto de admisión.

**Anexo # 3:** Electroventiladores.

Electroventiladores en perfecto estado para su funcionamiento.





Se observa el electroventilador #1 de los grupos electrógenos MTU BR 4000 16 V G 81 con su deterioro superficial.

