



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**

**DIRECCIÓN DE POSGRADOS**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO  
EN OPCIÓN AL GRADO ACADÉMICO DE  
MAGÍSTER EN GESTIÓN DE ENERGÍAS**

**TEMA:**

---

**“EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO TÉRMICO DE LAS  
TURBINAS LM2500 DEL BLOQUE 16 DE REPSOL, AÑO  
2015. PROPUESTA DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DEL  
MANTENIMIENTO PARA EL APROVECHAMIENTO  
ENERGÉTICO”.**

---

**Autor: CORRALES Bastidas, Byron Paúl**

**Tutor: Ing. MSc. MULLO Álvaro**

**LATACUNGA – ECUADOR**

**Junio – 2016**



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

## UNIDAD DE POSGRADO

Latacunga – Ecuador

---

### APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

En calidad de Miembros del Tribunal de Grado aprueban el presente informe en consideración de Posgrados de la Universidad Técnica de Cotopaxi; por cuanto, el maestrante: Corrales Bastidas Byron Paúl, con el título de proyecto de investigación y desarrollo: **“Evaluación del rendimiento térmico de las turbinas LM2500 del Bloque 16 de Repsol, año 2015. Propuesta de un sistema de gestión del mantenimiento para el aprovechamiento energético”**, ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Defensa de Proyecto de Investigación.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, Junio de 2016

Para constancia firman:

.....  
MSc. Ángel León  
PRESIDENTE

.....  
PhD. Juan José La Calle  
MIEMBRO

.....  
PhD. Juan Mato  
MIEMBRO

.....  
PhD. Secundino Marrero  
OPOSITOR

# **AVAL DEL DIRECTOR DE PROYECTO**

Latacunga, Junio de 2016

En mi calidad de Director de Proyecto de Investigación y Desarrollo presentado por el Ing. Corrales Bastidas Byron Paúl, Egresado de la Maestría en Gestión de Energías, previa a la obtención del mencionado grado académico, cuyo título es **“EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO TÉRMICO DE LAS TURBINAS LM2500 DEL BLOQUE 16 DE REPSOL, AÑO 2015. PROPUESTA DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO PARA EL APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO”**.

Considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del tribunal examinador.

Atentamente

Ing. MSc. Álvaro Mullo

**DIRECTOR DE PROYECTO DE  
INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO**

## **AUTORÍA**

Yo, Byron Paúl Corrales Bastidas, portador del número de cédula 0502347768, declaro que el presente Proyecto de Investigación y Desarrollo, es fruto de mi esfuerzo, responsabilidad y disciplina, logrando que los objetivos propuestos se culminen con éxito.

Atentamente

Byron Paúl Corrales Bastidas

C.I. 0502347768

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero agradecer a Dios por encaminar mis conocimientos hasta llegar a cumplir los objetivos establecidos al inicio de esta etapa de mi vida.

También quiero expresar mi agradecimiento profundo a mis padres, a mis hermanos, familiares y amigos por ayudarme y ser mi soporte incondicional.

De igual manera a la Universidad Técnica de Cotopaxi, a los docentes de posgrados y personal administrativo por sus sabias enseñanzas impartidas durante estos años de estudio.

Es justo agradecer a la empresa Repsol por brindarme toda la apertura necesaria y permitirme desarrollar el presente trabajo en sus instalaciones.

Finalmente agradecer en forma especial a mi tutor Álvaro Mullo por su ayuda incondicional.

Byron Paúl

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo lo dedico a todas aquellas personas que de una u otra forma colaboran en mi desarrollo profesional e intelectual.

Byron Paúl

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**UNIDAD DE POSGRADOS**  
**MAESTRÍA EN GESTIÓN DE ENERGÍAS**

**Evaluación del rendimiento térmico de las turbinas LM2500 del Bloque 16 de Repsol, año 2015. Propuesta de un sistema de gestión del mantenimiento para el aprovechamiento energético.**

**AUTOR:** CORRALES Bastidas, Byron Paúl

**TUTOR:** Ing. MSc. MULLO Álvaro

**RESUMEN**

El presente trabajo se desarrolla en la empresa Repsol ubicada en la provincia de Orellana, hace referencia a las turbinas de gas LM2500 las mismas que son empleadas para la generación de energía eléctrica la cual se la utiliza en la exploración y producción de petróleo en el Bloque 16. Las turbinas al estar expuestas la mayor parte del tiempo a trabajar al máximo de su potencia nominal, sumado al desgaste de los materiales internos, la mala calidad del combustible empleado, las condiciones ambientales agresivas de la zona de trabajo y la mala gestión del mantenimiento han hecho que en los últimos años baje considerablemente su eficiencia y con ello su potencia generada de esta manera afectando directamente a la producción total del bloque ya que no se puede abastecer la demanda de energía requerida generando grandes pérdidas económicas a la empresa. Mediante el análisis de las condiciones actuales se determina las causas que provocan la reducción de la eficiencia en las turbinas y se plantea la mejor alternativa para conseguir aumentar la eficiencia de las turbinas para de esta manera lograr generar más con menos consumo de combustible. Finalmente se plantea un sistema de gestión del mantenimiento el mismo que está encaminado a establecer un modelo eficaz que permita obtener resultados óptimos en lo que se refiere a eficiencia de las turbinas.

**Descriptor:** Turbina, eficiencia, consumo de energía, potencia.

**COTOPAXI TECHNICAL UNIVERSITY**  
**POSTGRADUATE UNIT**  
**MASTER IN ENERGY MANAGEMENT**

**Evaluation of the thermal performance of the turbines LM2500 Repsol Block 16, 2015. Proposal on a maintenance management system for energy efficiency.**

**AUTHOR:** CORRALES Bastidas, Byron Paul

**TUTOR:** Ing. MSc. MULLO Álvaro

**ABSTRACT**

This research was developed at the Repsol Company located in Orellana province, the study is about the gas turbines LM2500 that are used to generate electric power which is used in the exploration and production of petroleum in the Block 16. The turbines are exposed most of the time to working at full rated power, plus the wear of internal materials, the poor quality of fuel used, aggressive environmental conditions of the working area and mismanagement maintenance have made in recent years that the efficiency decrease considerably thereby affecting directly the total production of the block because it cannot supply the required energy demand generating huge economic losses to the company. By analyzing the current conditions will find the causes of reduced efficiency in turbines and poses the best alternative for increasing the efficiency of the turbines to thus achieve more generation with less fuel consumption. Finally, a maintenance management system poses the same aims to establish an effective model to achieve optimum results in terms of efficiency of the turbines.

**Descriptors:** Turbine, efficiency, energy consumption, power.

# ÍNDICE

<b>CONTENIDOS</b>	<b>PÁGINAS</b>
PORTADA.....	i
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO .....	ii
AGRADECIMIENTO.....	v
DEDICATORIA .....	vi
RESUMEN.....	vii
ABSTRACT .....	viii
ÍNDICE .....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xii
ÍNDICE DE TABLAS .....	xiv
INTRODUCCIÓN .....	1
SITUACIÓN PROBLEMÁTICA .....	3
JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
PROGNOSIS.....	5
DELIMITACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL .....	6
FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	6
OBJETIVOS .....	6
OBJETIVO GENERAL .....	6
OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	6
HIPÓTESIS .....	7
ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN .....	7

## **CAPÍTULO I**

### **MARCO CONTEXTUAL Y TEÓRICO**

1.1 Antecedentes de la investigación .....	8
1.2 Fundamentación teórica científica .....	9
1.2.1 Principales aplicaciones de las turbinas de gas .....	9
1.2.2 La turbina GE LM2500 .....	10
1.2.3 Principales elementos de las turbinas de gas LM2500.....	12
1.2.4 Rendimiento de una turbina de gas .....	14
1.2.5 Factores que afectan el desempeño de las turbinas de gas .....	15
1.2.6 La inspección boroscópica .....	23

1.2.7	El Mantenimiento.....	24
-------	-----------------------	----

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

2.1	Modalidad de la investigación .....	26
2.1.1	Observación.....	26
2.1.2	Método inductivo .....	27
2.1.3	Método deductivo.....	27
2.1.4	Método de análisis.....	27
2.1.5	Método de síntesis.....	28
2.2	Diseño de la investigación .....	28
2.3	Población y muestra .....	30
2.4	Operacionalización de las variables .....	31
2.5	Instrumentos de la investigación.....	33
2.5.1	Potencia disponible .....	33
2.5.2	Consumo de diésel .....	34
2.5.3	Rendimiento de las turbinas LM2500 .....	35
2.6	Fuentes de información.....	39

## **CAPÍTULO III**

### **ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

3.1	Características generales de Repsol .....	40
3.2	Eficiencia térmica de las turbinas LM2500 de Repsol.....	46
3.3	Relación entre consumo de combustible y energía generada.....	53
3.4	Análisis del desempeño de las turbinas.....	62
3.4.1	Temperatura del aire de aspiración .....	63
3.4.2	Altitud y presión atmosférica .....	65
3.4.3	Caída de Presión en los filtros, envejecimiento y ensuciamiento .....	65
3.4.4	Inspecciones boroscópicas .....	72
3.4.5	Problemas con la calidad del diésel .....	75
3.4.6	Análisis de las Emisiones de Gases a la Atmósfera .....	83

## **CAPÍTULO IV**

### **LA PROPUESTA**

4.1	Título de la propuesta.....	84
-----	-----------------------------	----

4.2	Justificación.....	84
4.3	Objetivo.....	85
4.4	Estructura de la propuesta .....	85
4.4.1	Fundamentación del sistema de gestión del mantenimiento .....	86
4.4.2	Estructura del Sistema de Gestión de Mantenimiento .....	89
4.4.3	Alternativas adicionales para mejorar la eficiencia en las turbinas. ....	95
4.4.4	Análisis Económico .....	103
4.5	Verificación de la hipótesis.....	104
	CONCLUSIONES .....	106
	RECOMENDACIONES .....	107
	BIBLIOGRAFÍA.....	108
	ANEXOS.....	110

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Turbina LM2500.....	10
Figura 1.2 Partes de la turbina LM2500.....	11
Figura 1.3 Componentes de un Compresor de Flujo Axial.....	13
Figura 1.4 Elementos de una turbina de flujo axial .....	14
Figura 1.5 Relación potencia - rendimiento vs. Temperatura ambiente de las turbinas de gas.....	17
Figura 1.6 Sistema de filtrado de aire de las turbinas LM2500 .....	19
Figura 1.7 Disposición de filtros de aire de las turbinas LM2500 .....	20
Figura 1.8 Pórticos de boroscopio en una turbina LM2500.....	24
Figura 2.1 Diseño de la Investigación.....	29
Figura 2.2 Diagrama de Pareto Generación Eléctrica de Repsol .....	30
Figura 2.3 Relé G60 .....	33
Figura 2.4 Transmisor de Flujo FT-1247 .....	34
Figura 2.5 El sensor AD590 T2 .....	36
Figura 2.6 Sistema de Ventilación TR-1170A.....	36
Figura 2.7 Reloj digital para medición de la presión atmosférica.....	37
Figura 2.8 Testo 350 XL .....	38
Figura 2.9 Videoscopio Olympus Iplex FX .....	38
Figura 3.1 Distribución de las fuentes de generación de Repsol .....	40
Figura 3.2 Energía Generada por Campo en Repsol.....	43
Figura 3.3 Total Energía Generada en Repsol .....	43
Figura 3.4 Energía Generada por el Tipo de Combustible.....	44
Figura 3.5 Turbinas TR-1170A y TR-1170B del campo NPF.....	45
Figura 3.6 Turbina TR-2170B del campo SPF .....	45
Figura 3.7 Scada Sistema de Combustible TR-1170A.....	46
Figura 3.8 Promedio Eficiencia de las Turbinas, año 2013 .....	50
Figura 3.9 Promedio Eficiencia de las Turbinas, año 2014 .....	51
Figura 3.10 Promedio Eficiencia de las Turbinas, año 2015 .....	51
Figura 3.11 Consumo de Diésel y Energía Generada TR-1170A 2013 .....	56
Figura 3.12 Consumo de Diésel y Energía Generada TR-1170A 2014.....	56
Figura 3.13 Consumo de Diésel y Energía Generada TR-1170A 2015.....	57

Figura 3.14 Consumo de Diésel y Energía Generada TR-1170B 2013 .....	58
Figura 3.15 Consumo de Diésel y Energía Generada TR-1170B 2014 .....	58
Figura 3.16 Consumo de Diésel y Energía Generada TR-1170B 2015 .....	59
Figura 3.17 Línea Base de Eficiencia TR-1170A y TR-1170B .....	60
Figura 3.18 Consumo de Gas y Energía Generada TR-2170B 2013 .....	61
Figura 3.19 Consumo de Gas y Energía Generada TR-2170B 2014 .....	61
Figura 3.20 Consumo de Gas y Energía Generada TR-2170B 2015 .....	62
Figura 3.21 Temperatura aire de admisión vs. Potencia TR-2170B, 2013 .....	64
Figura 3.22 Presión diferencial filtros de aire, Diciembre 2014 TR-1170A....	67
Figura 3.23 Presión diferencial filtros de aire, Diciembre 2014 TR-1170B ....	67
Figura 3.24 Generación antes y después del mantenimiento TR-1170A.....	68
Figura 3.25 Generación antes y después del mantenimiento TR-1170B .....	68
Figura 3.26 Recinto de ingreso de aire con oxidación .....	69
Figura 3.27 Oxidación en el piso del área de filtros de aire.....	70
Figura 3.28 Oxidación y corrosión en área de filtros de aire .....	70
Figura 3.29 Filtros de aire de barrera .....	71
Figura 3.30 Filtros de aire metálicos.....	71
Figura 3.31 Ducto de ingreso de aire a la turbina .....	72
Figura 3.32 Inspección compresor de aire TR-1170B .....	73
Figura 3.33 Inspección cámara de combustión TR-1170B .....	74
Figura 3.34 Inspección Turbina HPT TR-1170B.....	75
Figura 3.35 Filtros de diésel contaminados.....	77
Figura 3.36 Purificadora de diésel .....	77
Figura 3.37 Abastecimiento de diésel hacia las turbinas en NPF .....	78
Figura 3.38 Vástago válvula de combustible .....	81
Figura 3.39 Consumo de filtros de diésel 2013.....	82
Figura 3.40 Consumo de filtros de diésel 2014.....	82
Figura 3.41 Consumo de filtros de diésel 2015.....	83
Figura 4.1 Enfriador evaporativo .....	97
Figura 4.2 Sistema de Niebla .....	98
Figura 4.3 Compresión Húmeda .....	99

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Características del combustible de la turbina de gas.....	23
Tabla 2.1 Operacionalización de las variables .....	32
Tabla 3.1 Fuentes de Generación en NPF .....	41
Tabla 3.2 Fuentes de Generación en SPF.....	41
Tabla 3.3 Cálculo de la Eficiencia de la Turbina TR-1170A, Enero 2013 .....	48
Tabla 3.4 Cálculo de la Eficiencia de la Turbina TR-1170B, Enero 2013 .....	48
Tabla 3.5 Cálculo de la Eficiencia de la Turbina TR-2170B, Enero 2013 .....	49
Tabla 3.6 Eficiencia de las Turbinas, 2013 .....	49
Tabla 3.7 Consumo de combustible y energía generada por turbina, 2013 .....	53
Tabla 3.8 Consumo de combustible y energía generada por turbina, 2014 .....	54
Tabla 3.9 Consumo de combustible y energía generada por turbina, 2015 .....	55
Tabla 3.10 Consumo de filtros sistema de diésel NPF, 2013.....	79
Tabla 3.11 Consumo de filtros sistema de diésel NPF, 2014.....	79
Tabla 3.12 Consumo de filtros sistema de diésel NPF, 2015.....	80
Tabla 4.1 Responsables del Sistema de Gestión de Mantenimiento .....	90
Tabla 4.2 Prioridad de ejecución de trabajo.....	92
Tabla 4.3 Producción Planta Topping .....	103

## INTRODUCCIÓN

Una turbina de gas es una máquina rotativa de combustión interna, la más conocida es la de los aviones a propulsión a chorro o “jet”. Básicamente su funcionamiento se debe a la quema de una mezcla pobre de combustible con aire a presión. Los gases calientes y presurizados, producto de la combustión, se expanden a través de los ensambles de discos y alabes de turbina resultando en una potencia de salida en el eje, empuje de propulsión o una combinación de los dos.

Las mayores aplicaciones de las turbinas de gas incluyen la propulsión de aviones, bombeo de petróleo crudo y gas, plataformas marinas, generación de energía, generadores de emergencia, propulsión de lanchas y buques, propulsión de tanques de guerra. Existen diferencias en una turbina para cada aplicación mencionada.

Existen algunas deficiencias importantes que explican el por qué no son de uso universal. Los materiales usados comúnmente en las turbinas de gas son muy sensitivos a la sal, al cloro, y a los contaminantes de azufre presentes en el aire y en los combustibles. Esto causa corrosión en los alabes aún si son concentraciones pequeñas, debido a las temperaturas altas que se tiene. La contaminación debida a los partículas en el aire, tal como el humo, polvo o arena, pueden causar taponamiento de los filtros de aire y pueden erosionar o rayar a los alabes de compresor y de turbina. Cuando se considere el uso de turbinas de gas se debe considerar estos problemas y se debe justificar económicamente el costo de las medidas correctivas.

La presente investigación tiene como finalidad evaluar el rendimiento térmico de las turbinas LM2500 del Bloque 16 de Repsol.

Para conseguir este objetivo el documento se lo ha organizado en cuatro capítulos: En el CAPÍTULO I, se establece una descripción amplia de la operación y funcionamiento de las turbinas a gas, el análisis y recopilación de información acerca factores que afectan el rendimiento térmico de las turbinas.

En el CAPÍTULO II, se establece la metodología, modalidad, forma, tipo y nivel de investigación, el muestreo, los métodos y técnicas a ser empleadas, la operacionalización de las variables y el procedimiento de la investigación.

En el CAPÍTULO III, se analizan e interpretan los diferentes datos obtenidos sobre el rendimiento térmico de las turbinas y además se determina el tipo de mantenimiento que con el que se cuenta.

Finalmente en el CAPÍTULO IV, se desarrolla la propuesta de un sistema de gestión del mantenimiento para el aprovechamiento energético.

## **SITUACIÓN PROBLEMÁTICA**

Repsol Ecuador S.A., es una empresa de exploración y producción de hidrocarburos comprometida con el respeto y protección del medio ambiente, la conservación de la biodiversidad, la salud y seguridad hacia las personas, la excelencia en la calidad de sus procesos, y la colaboración hacia las comunidades indígenas ubicadas en su área de influencia. Sus operaciones las realiza en las provincias de Orellana y Sucumbíos, en la Región Amazónica Ecuatoriana.

Repsol tiene una producción aproximada de 26.000 barriles diarios de crudo. Para obtener esta producción necesita de energía eléctrica la cual es obtenida del empleo de tres turbinas de gas marca GE modelo LM2500, siete motores de combustión interna a crudo marca Wartsila y veintidós motores de combustión interna a gas marca Waukesha alcanzando así una generación total de 94 MW. Esta energía generada es utilizada para extraer alrededor de 900.000 barriles de fluido, es decir 26.000 barriles son de crudo y el resto es agua de formación la misma que es re-inyectada a la tierra mediante pozos de inyección de agua de formación. La gran cantidad de agua que se maneja en el campo es un problema ya que del total de energía que se genera alrededor del 80% se consume en bombas de inyección de agua y el resto en pozos y bombas para la extracción y transporte del crudo.

Para abastecer la demanda de 94 MW y por consiguiente una producción de 26.000 barriles de crudo por día se requiere que todos los equipos de generación presenten una alta disponibilidad y eficiencia. Del total de energía generada se establece que el 51% de ella es exclusiva del aporte de las tres turbinas con la que cuenta el Bloque 16, el 41% es del aporte de la generación a crudo con motores Wartsila y el restante 8% corresponde de la generación a gas con motores de combustión Waukesha. Es por ello que en el caso de las turbinas LM2500 con que cuenta Repsol se necesita que su rendimiento sea el máximo posible el mismo que en los últimos años no se ha estado consiguiendo.

De las tres turbinas LM2500 con que cuenta el Bloque 16 dos de ellas trabajan con diésel y la otra es tipo dual es decir tiene la posibilidad de trabajar con gas o diésel como combustible. Las turbinas tienen una capacidad de generación de 21 MW de los cuales actualmente se genera un máximo de 17 MW y su operación es

continua. Están formadas por una turbina General Electric (GE), su modelo es 7LM2500-PE-MLG07, poseen dos ejes los mismos que están acoplados aerodinámicamente, su compresor gira a una velocidad máxima de 10.000 rpms mientras que la turbina de potencia gira a 3.600 rpms, su capacidad disponible es de 24,978 HP. La turbina de potencia está acoplada a un generador eléctrico marca Brush modelo BDAX7.167E cuyas características son 3.600 rpms, 60 Hz, 3 fases, 13.800 Vac, 21.450 KW, PF 0,85 y 1.056 A.

Las turbinas al estar expuestas la mayor parte del tiempo a trabajar al máximo de su potencia sumado al desgaste de los materiales internos, así como también al deterioro de los equipos auxiliares y la calidad del combustible empleado han hecho que su rendimiento disminuya de esta manera afectando directamente a la producción del Bloque debido a que no se puede abastecer la demanda requerida generando pérdidas económicas a la empresa. El hecho de que las turbinas estén expuestas a trabajo continuo disminuye la posibilidad de realizar mantenimientos preventivos para cuidar la vida útil de los elementos de la máquina lo cual de una u otra manera contribuye a que la eficiencia de la turbina cada vez disminuya. Además la operación en condiciones adversas para las máquinas ocasiona que las emisiones de gases a la atmósfera se incrementen con lo cual los índices de contaminación bordean los límites establecidos en las normas del Estado.

El área de mantenimiento de Repsol de acuerdo a recomendaciones del fabricante y en base a la experiencia operativa ha establecido que el plan de mantenimiento preventivo de las turbinas LM2500 tenga una frecuencia de tres meses a fin de precautelar las condiciones de sus elementos internos pero este plan está sujeto a las condiciones operativas del sistema y más que todo a la demanda de producción que se maneje en el Bloque ya que el parar una turbina para un mantenimiento significa retirar 17 MW del sistema lo que implica apagar pozos de extracción de crudo y bombas de inyección de agua.

En virtud de ello se plantea realizar la evaluación del rendimiento térmico de las turbinas LM2500 del Bloque 16 de Repsol, año 2015 y elaborar una propuesta de un sistema de gestión del mantenimiento para el aprovechamiento energético.

## **JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

El presente trabajo contempla la evaluación del rendimiento térmico de las turbinas LM2500 del Bloque 16 de Repsol en base a la Gestión del Mantenimiento.

Con la realización de este trabajo se identificarán las causas de la pérdida de eficiencia y los sectores en los cuales hay que tomar acciones correctivas para poder tener un incremento y recuperar la capacidad de generación de las turbinas, de esta manera aumentando la generación de Repsol lo que se verá reflejado en producción y posteriormente en la parte económica ya que no se tendrán que apagar equipos por falta de energía.

La operación de las turbinas genera gases de combustión los mismos que se dirigen al ambiente y Repsol al estar operando dentro del parque Yatzuní, que es una reserva ecológica de gran importancia medio ambiental, pretende que estas emisiones de gases tengan el menor impacto posible, es por eso que la propuesta pretende mediante el mantenimiento corregir estos efectos y aprovechar de una mejor manera los gases de combustión en distintos ámbitos como pueden ser en la cogeneración o inclusive en el calentamiento de procesos industriales dentro del Bloque, aportando así a la reducción del impacto ambiental que es el compromiso de Repsol.

Con el desarrollo de un sistema de gestión del mantenimiento se trata de establecer rutinas adecuadas que contribuyan directamente a mejorar el rendimiento de las turbinas.

La presente investigación servirá como base para futuras investigaciones dentro del Bloque 16 que estén encaminadas a incrementar el rendimiento de cada uno de los diferentes sistemas que constituyen la operación de una turbina de gas.

## **PROGNOSIS**

De no llevarse a cabo el diagnóstico del rendimiento de las turbinas y plantear una propuesta de aprovechamiento energético en base a un mantenimiento adecuado, provocará un elevado consumo de energía y a mediano plazo se verá reflejado en un potencial daño mayor de las turbinas.

## **DELIMITACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL**

La evaluación del rendimiento térmico de las turbinas LM2500 permitirá establecer las posibles acciones a tomarse en cuenta para mejorar su rendimiento. La aplicación de este plan se llevará a cabo a partir de Enero de 2016 en las turbinas LM2500 del Bloque 16 de Repsol en la ciudad de Francisco de Orellana.

## **FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

El inadecuado Sistema de Gestión del Mantenimiento de las turbinas LM2500 del Bloque 16 de Repsol provoca la disminución del rendimiento en el aspecto energético.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

- Evaluar el rendimiento térmico de las turbinas LM2500 del Bloque 16 de Repsol mediante un diagnóstico de los sistemas para proponer un régimen de gestión del mantenimiento que garantice el aprovechamiento energético de la turbina.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Elaborar un plan de mejoras que tribute a la implementación de un sistema de gestión de mantenimiento sostenido para mejorar el funcionamiento de las turbinas con el máximo rendimiento posible.
- Analizar las condiciones actuales de operación de las turbinas LM2500 de Repsol.
- Identificar los aspectos más relevantes que intervienen en la disminución de la eficiencia térmica de una turbina de gas.
- Evaluar el impacto de la propuesta en relación con los aspectos técnicos, económicos y ambientales.

## **HIPÓTESIS**

Con la implementación del plan de gestión de mantenimiento y si se determinan aspectos puntuales de las condiciones actuales de las turbinas LM2500 entonces se dispondrá de una mejora en el aprovechamiento energético.

## **ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN**

La presente investigación está centrada en el rendimiento de las turbinas LM2500, empleando un enfoque cuantitativo que consiste en la recolección y el análisis de datos para dar cumplimiento a los objetivos y probar la hipótesis establecida. Para ello, se confía en la medición numérica y el uso de la estadística para establecer con exactitud patrones de comportamiento.

# CAPÍTULO I

## MARCO CONTEXTUAL Y TEÓRICO

En este capítulo se describe el marco teórico, los antecedentes, la conceptualización, el marco legal y reglamentario vigente, necesarios para la fundamentación legal del proyecto.

### 1.1 Antecedentes de la investigación

De acuerdo a la publicación de A. M. Y. Razak (Razak, 2007):

“El uso de turbinas de gas industriales se ha generalizado en muchas industrias que requieren energía”.

Se puede afirmar que la potencia brindada por una turbina de gas se la utiliza para generar electricidad o en algunos casos se la emplea en equipos de accionamiento tales como bombas o compresores de procesos.

Según Meherwan P. Boyce (Boyce, 2002) nos dice que:

“Los últimos 20 años se ha visto un gran crecimiento en la tecnología de turbinas de gas. El crecimiento está encabezado por el desarrollo de la tecnología de materiales, nuevos recubrimientos y nuevos esquemas de enfriamiento. Esto, junto al aumento de la relación de presión del compresor, ha incrementado la eficiencia térmica de la turbina de gas de aproximadamente 15% a más del 45%.”

El análisis de la eficiencia térmica de las turbinas es una investigación que en los últimos años ha tomado gran importancia a nivel mundial debido a las soluciones que brinda en diferentes ámbitos y a la reducción de costos que implica en el caso de que se la aplique de una manera correcta.

En Repsol no existen proyectos relacionados al estudio de la eficiencia térmica en las turbinas LM2500 en base a la gestión del mantenimiento que sirvan para mejorar su rendimiento.

## **1.2 Fundamentación teórica científica**

Según Meherwan P. Boyce (Boyce, 2002): “La turbina de gas es una planta de poder que produce una gran cantidad de energía para su tamaño y peso”.

Refiriéndose al trabajo de Jorge Félix Fernández (Fernández, 2009) expresa que:

“Se puede decir que antes del año 1940 todas las máquinas térmicas de combustión interna eran del tipo alternativo: émbolo, biela y cigüeñal. Recién, hacia el año 1940, al lograrse la fabricación de compresores rotativos de alto rendimiento, conjuntamente con los progresos realizados en el campo de la metalurgia, que permitieron la fabricación de aceros refractarios capaces de resistir altas temperaturas, se posibilitó el desarrollo de las turbinas a gas”.

Según el libro Gas Turbine Handbook Principles and Practice (Giampaolo, 2009) dice que:

“El crecimiento de la turbina de gas en los últimos años ha sido provocado principalmente por tres factores:

- Avances metalúrgicos que han hecho posible el empleo de altas temperaturas en las cámaras de combustión y componentes de turbinas.
- La acumulación de conocimientos aerodinámicos y termodinámicos, y
- La utilización de la tecnología informática en el diseño y simulación de perfiles aerodinámicos de turbinas y configuraciones de alabes de enfriamiento de cámaras de combustión y turbinas.”

Las turbinas a gas son máquinas de manejo de calor por excelencia para convertir energía química de algún combustible en potencia mecánica. Estas son máquinas similares de muchas formas a las de combustión interna de 4 tiempos, salvo que las turbinas son máquinas de trabajo continuo.

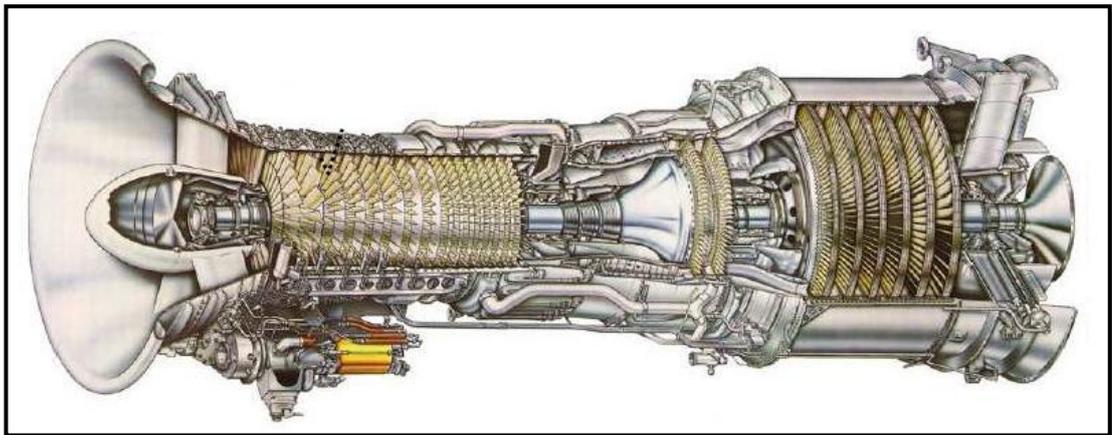
### **1.2.1 Principales aplicaciones de las turbinas de gas**

Las dos principales áreas de aplicación de las turbinas de gas son la propulsión de aviones y la generación de energía eléctrica. El ciclo de turbina de gas también puede ejecutarse como un ciclo cerrado para su utilización en centrales nucleares, en las que el fluido de trabajo no se limita al aire y puede emplearse un gas con características más convenientes (como el helio).

### 1.2.2 La turbina GE LM2500

La turbina de gas de General Electric (GE) modelo LM2500 que se muestra en la Figura 1.1 es una turbina derivada del motor GE CF6-6 utilizado en aeronáutica. Además de su uso en el campo de la aviación, también forma parte del equipo de impulsión de algunos barcos, sobre todo militares, y se emplea ampliamente para generar energía eléctrica en plantas de ciclo abierto, de ciclo combinado y de cogeneración de electricidad y calor (Renovetec, 2015).

**Figura 1.1 Turbina LM2500**



**Fuente:** (GE, LM2500 Gas Turbine Familiarization, 2012)

La turbina LM2500 está formada por un generador de gas y una turbina de potencia. Forman parte del equipo la bomba de aceite, el sistema de suministro de combustible, las secciones de aire de entrada y gases de escape, y el sistema de control. La potencia total es de unos 25 MW, dependiendo del modelo exacto, la velocidad de giro del generador de gas ronda las 6500 rpm (depende del modelo), la velocidad de la turbina de potencia es variable y el rendimiento mecánico supera actualmente el 37% en condiciones ISO (Renovetec, 2015).

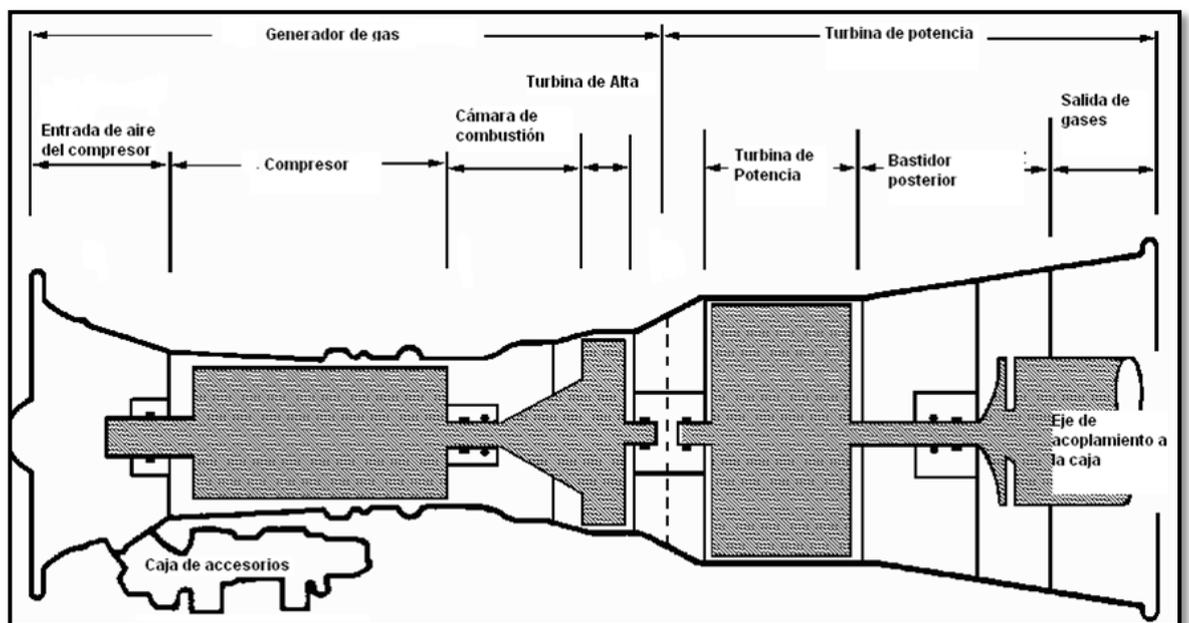
El generador de gas de la LM2500 consta de 16 etapas de compresión con una relación 18:1. Dispone de 16 etapas de geometría variable, una cámara de combustión anular con inyectores de combustible montados desde el exterior, y 2 etapas de turbina de alta presión refrigeradas por aire de alta presión que se extrae del compresor. La turbina de potencia está formada por 2 ó 6 etapas de turbina de baja presión (existen modelos con ambas configuraciones) que giran gracias a la

energía que reciben de los gases que salen del generador de gas (Renovetec, 2015).

Como se muestra en la Figura 1.2 se trata pues de una turbina aeroderivada, de cámara de combustión anular y multieje, dividida generalmente en dos partes:

- El generador de gas, que incluye el compresor, la cámara de combustión y la turbina de alta presión. Las entradas de este generador de gas son el aire comburente y el combustible. El eje del compresor, de 16 etapas, y de la turbina de alta presión, de dos etapas, están unidos y rotan solidarios a la misma velocidad. La salida son gases a cierta velocidad, que todavía pueden generar trabajo mecánico.
- La turbina de potencia tiene como entrada los gases a temperatura y presión intermedia, ya que, éstos han perdido una buena parte de su energía en el accionamiento del compresor. La energía de estos gases se emplea para producir movimiento mecánico rotativo en el eje de dicha turbina, que es independiente del eje del generador de gas.

**Figura 1.2 Partes de la turbina LM2500**



**Fuente:** (GE, LM2500 Gas Turbine Familiarization, 2012)

El eje de la turbina de potencia está acoplado con el eje del equipo que se quiere impulsar, este hecho hace que la salida de los gases en el escape tenga que ser radial (en la dirección axial está el equipo accionado).

### **1.2.3 Principales elementos de las turbinas de gas LM2500**

Los principales elementos constituyentes de la turbina de gas son los siguientes:

- El generador de gas, compuesto a su vez por compresor de 16 etapas, cámara de combustión anular de 30 inyectores y turbina de alta presión de 2 etapas, que mueve al compresor.
- La turbina de potencia, con eje independiente, compuesta por 2 ó 6 etapas.
- Contenedor acústico, que aloja el conjunto formado por el generador de gas y la turbina de potencia.
- Equipo de lubricación, encargado de suministrar aceite de lubricación, filtrado y a la temperatura adecuada, a los rodamientos encastrados en los ejes.
- Sistema de limpieza del compresor, que suministra agua y productos químicos para el mantenimiento de los álabes del compresor.

Sistema de control, encargado de la monitorización de los principales parámetros de funcionamiento, el control de las secuencias de determinadas maniobras (arranque, parada, limpieza, giro lento) y el gobierno de las protecciones que lleva implementada la turbina para su funcionamiento seguro.

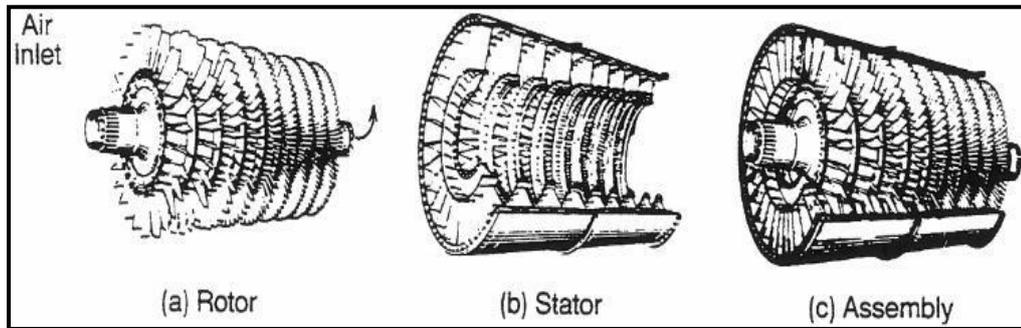
Los tres elementos principales son el compresor, la cámara de combustión y la turbina. El tipo y especificación de estas secciones son determinados por el uso y rendimiento esperados de la máquina. Se pueden añadir intercambiadores de calor de varios tipos para aumentar la potencia de salida y la eficiencia con el costo de una mayor complejidad, peso y gastos (Renovetec, 2015).

#### **➤ El compresor de flujo axial**

El compresor de flujo axial, que se muestra en la Figura 1.3, es llamado así porque el flujo de aire fluye paralelamente al eje del rotor. Durante la compresión, el aire pasa a través de una serie de etapas. Cada etapa consiste de una fila de alabes en movimiento (blades) sujetas al rotor seguida de una fila de alabes estacionarios

(vanes) sujetas al estator o carcasa. Pueden llegar a necesitarse hasta 16 etapas para alcanzar la presión de operación deseada.

**Figura 1.3 Componentes de un Compresor de Flujo Axial**



**Fuente:** Curso Básico de Turbinas(Medanito, 2005)

#### ➤ **Cámara de Combustión**

La cámara de combustión está sujeta a un ambiente térmico muy severo y es hecha generalmente de aleaciones para alta temperatura basadas en níquel y algunas veces en Cobalto. El espacio disponible para la cámara es relativamente pequeño y la distribución de la temperatura de los gases dejando el quemador debe ser tan uniforme como sea posible (para proveer buen desempeño y para prevenir problemas de sobrecalentamiento en lugares localizados).

Además, la combustión debe ser continua y estable. Este puede ser un requerimiento difícil debido a que la velocidad del aire entrando a la cámara de combustión está frecuentemente en el orden de los 100 a 200 pies por segundo (ft/sec) (68 a 136 millas por hora o 30 a 60 metros por segundo). Si el proceso de combustión no es eficiente, se pueden formar partículas de carbón. Estas partículas pueden desgastar o erosionar los alabes de la turbina, disminuyendo su vida útil y reduciendo la eficiencia de la máquina. Otros problemas concernientes a la presión, a la temperatura, fatiga del metal y tensiones pueden también ser importantes.

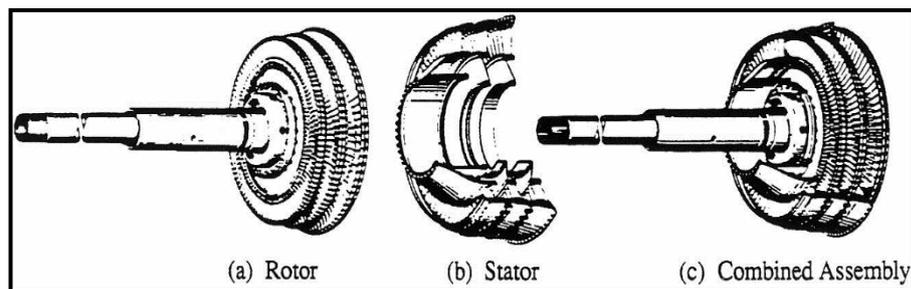
#### ➤ **Turbina**

Como en el compresor de flujo axial, el aire pasa a través de una serie de etapas. Cada etapa consiste de una fila de alabes estacionarios (toberas) seguidos por una

fila de alabes en movimiento. La Figura 1.4 ilustra una turbina de flujo axial de tres etapas.

A medida que los gases de combustión fluyen a través de la fila de toberas ellos se expanden convirtiendo la presión en energía cinética (incrementando la velocidad).

**Figura 1.4 Elementos de una turbina de flujo axial**



**Fuente:** Curso Básico de Turbinas (Medanito, 2005)

Este es esencialmente un proceso inverso al de la compresión. Cuando los gases, con velocidad aumentada, golpean los álabes del rotor en movimiento, ellos imparten una fuerza que mantiene al rotor en movimiento.

#### **1.2.4 Rendimiento de una turbina de gas**

Se denomina rendimiento mecánico de una turbina de gas a la relación entre el trabajo producido y la energía aportada por el combustible.

$$n_m = \frac{W_m}{Q_{comb}} \quad \text{Ec. 1}$$

En donde:

$Q_{comb}$  = Energía aportada por el combustible

$W_m$  = Trabajo producido

Como la energía útil que se pretende obtener normalmente es electricidad, se utiliza otro valor denominado rendimiento eléctrico. La transformación de trabajo mecánico en electricidad se lleva a cabo en el alternador. Debido a que en dicha transformación el rendimiento no llega al 100%, la electricidad generada es algo

inferior al trabajo mecánico producido en la turbina. El rendimiento de dicha transformación es en torno al 97% (Fraile, 2008).

$$n_e = \frac{W_e}{Q_{comb}} \quad \text{Ec. 2}$$

En donde:

$Q_{comb}$  = Energía aportada por el combustible

$W_e$  = Trabajo eléctrico

De forma general, la eficiencia aumenta a mayor tamaño de la turbina de gas, a medida que la eficiencia eléctrica aumenta, la cantidad total de energía térmica disponible disminuye por unidad de potencia, y la relación potencia-calor aumenta.

La eficiencia de una turbina de gas se la puede calcular aplicando las siguientes ecuaciones:

$$HR = \frac{\text{Fuel Flow} * \text{Fuel Heating Value}}{\text{Power Output}} \quad \text{Ec. 3}$$

En donde:

HR = Heat Rate (Tasa de calor) [BTU/Kwh]

Fuel Flow = Tasa de flujo [gpm]

Fuel Heating Value = Poder calorífico inferior del diésel [BTU/gal]

Power Output = Potencia Generada [KW]

Una vez determinada la tasa de calor de la turbina se determina la eficiencia térmica, la misma que viene dada por la siguiente relación:

$$n = \frac{1}{HR} \quad \text{Ec. 4}$$

### 1.2.5 Factores que afectan el desempeño de las turbinas de gas

Las prestaciones fundamentales de una turbina de gas son las siguientes:

- Potencia eléctrica (kW)

- Rendimiento eléctrico (%)
- Caudal de gases de escape (kg/s)
- Temperatura de gases de escape (°C)

Las condiciones ambientales bajo las cuales opera la turbina de gas tienen un efecto notable sobre la potencia y la eficiencia.

Como se observa en la Figura 1.5 el rendimiento de una turbina de gas puede verse alterado por factores como la temperatura ambiente y la humedad del aire, la altitud sobre el nivel del mar, el poder calórico del combustible, la presión de salida de los gases al ambiente, y la temperatura de salida de los gases.

Los tres primeros factores pueden producir una disminución en la densidad del aire, lo que hará que el compresor no actúe con la misma eficiencia. Un aire menos denso en un volumen determinado conlleva menos masa. Al ser la masa directamente proporcional a la fuerza, no se alcanzará una producción óptima de energía, y por ende el rendimiento térmico disminuirá.

También influyen en el rendimiento la presión de salida y la temperatura.

La presión de salida de los gases al ambiente es una energía potencial que se entregó al aire, pero que no se quedó dentro de la turbina, por lo tanto será conveniente que esta presión sea baja y en el rango de 4,5 - 5 pulgadas de H<sub>2</sub>O.

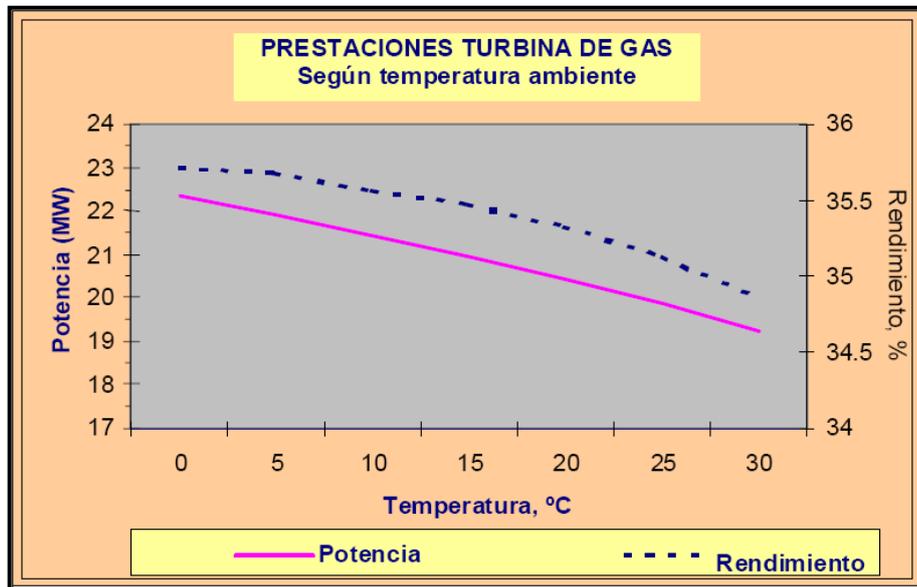
Algo semejante sucede con la temperatura de salida de los gases, ya que esta es sinónimo de energía térmica que no se aprovechó dentro de la máquina.

Es importante tener en cuenta estos aspectos sobre la presión y la temperatura de salida de los gases al ambiente ya que pueden ser originados por ciertas fallas que pueden llamarse fallas de tipo externo, (también las hay de tipo interno).

Problemas en la chimenea, como una altura no adecuada, produce un aumento en la presión de salida; cualquier otra restricción en la chimenea, como demasiados silenciadores o laberintos, impedirán una salida adecuada de los gases, y un correspondiente incremento en la presión.

El poder calórico del combustible tiene su repercusión en el rendimiento térmico, ya que un combustible con alto poder calórico fomenta una mejor combustión.

**Figura 1.5 Relación potencia - rendimiento vs. Temperatura ambiente de las turbinas de gas**



**Fuente:** Diego Fraile, Cogeneración: Aspectos Tecnológicos (Fraile, 2008).

El rendimiento térmico de una turbina de gas nos dice cuál es la cantidad o el nivel de aprovechamiento de la energía calórica que se inyecta a la turbina en forma de combustible, como un sistema en sí.

Los parámetros que dan origen a este rendimiento son:

- Energía producida (KW)
- Cantidad de combustible (GAL)
- Período de tiempo.

Entonces se puede decir que la relación entre la energía producida durante un período de tiempo, y la cantidad de combustible consumido en ese mismo período, da como resultado el rendimiento térmico de la turbina a gas (kWh/Gal).

#### ➤ Filtrado de aire de entrada

En las turbinas de gas modernas que operan en una relación de compresión de 10 a 1, el compresor ingiere aproximadamente de 7 a 9 pies cúbicos por minuto de aire por cada kW producido. Con este volumen de aire, aún bajas concentraciones de contaminantes pueden resultar en montos totales muy significativos. Puesto en

estos términos, se puede apreciar la importancia de una apropiada filtración del aire de entrada a la turbina.

La erosión del compresor, el ensuciamiento de los álabes con escamas producto de la combinación de suciedad seca y humedad (fouling), y daños por objetos extraños, son los tres mayores tipos de degradación o daño del compresor por la calidad pobre del aire. El taponamiento de los pasajes de enfriamiento, el atoramiento de las raíces de los álabes de turbina y la sulfatación y corrosión térmica son los problemas que encontramos en la turbina debido a un aire de mala calidad.

El sistema de aire de combustión y ventilación del paquete turbina generador suministra aire filtrado para la combustión de la turbina y para la ventilación de los recintos de la turbina y del generador a través de un módulo de filtrado.

El aire que fluye al interior del paquete es limpiado y acondicionado por dos etapas de filtrado de aire.

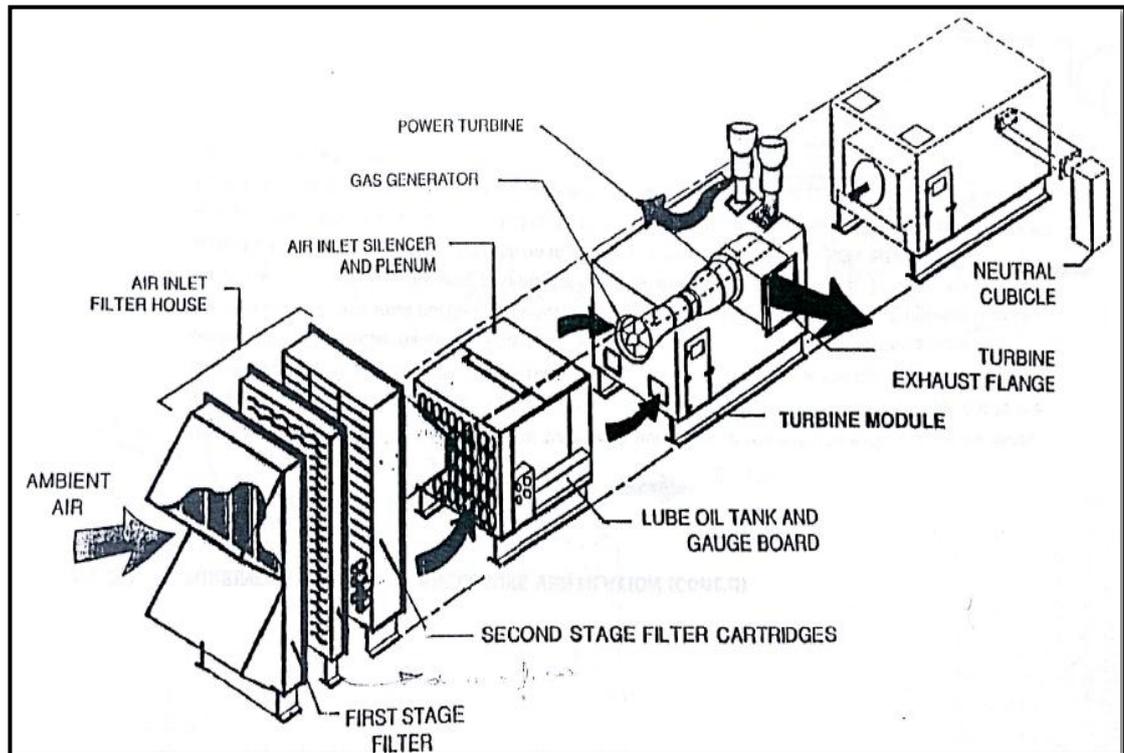
La entrada a los filtros y el flujo de aire dentro del compartimiento están protegidos por mallas metálicas localizadas en la entrada para mantener libre de insectos, basura y otros objetos grandes. En la Figura 1.6 se muestra el sistema de filtrado de aire de ingreso a las turbinas LM2500.

La etapa 1 consta de un separador ciclónico y extractor de sólidos. Esta etapa está compuesta de varias secciones de tubos ciclónicos, cada ciclón tiene un dispositivo que produce una turbulencia en la entrada de aire. La acción fuerza centrífuga de la turbulencia produce una la cual mueve las partículas de polvo suspendidas a los extremos del tubo. El polvo y el aire separado de las impurezas pasan desde los tubos ciclónicos hacia una cámara de extracción. Dos ventiladores acoplados a motores eléctricos suministran un flujo de aire que extrae el polvo a través de ductos de venteo al exterior. El aire remanente pasa a la segunda etapa de filtrado con un porcentaje menor de su contaminación inicial.

La etapa 2 consta de filtros barrera. Esta etapa de filtrado consiste de 200 filtros cilíndricos que atrapan y mantienen las partículas de polvo suspendidas en el aire entrante. Estos filtros han sido instalados con sujetadores tipo tornillo para prevenir fugas de aire y facilitar su remoción para limpieza o reemplazo. Entre las dos etapas de filtrado se tienen 16 módulos separadores de humedad. El flujo de

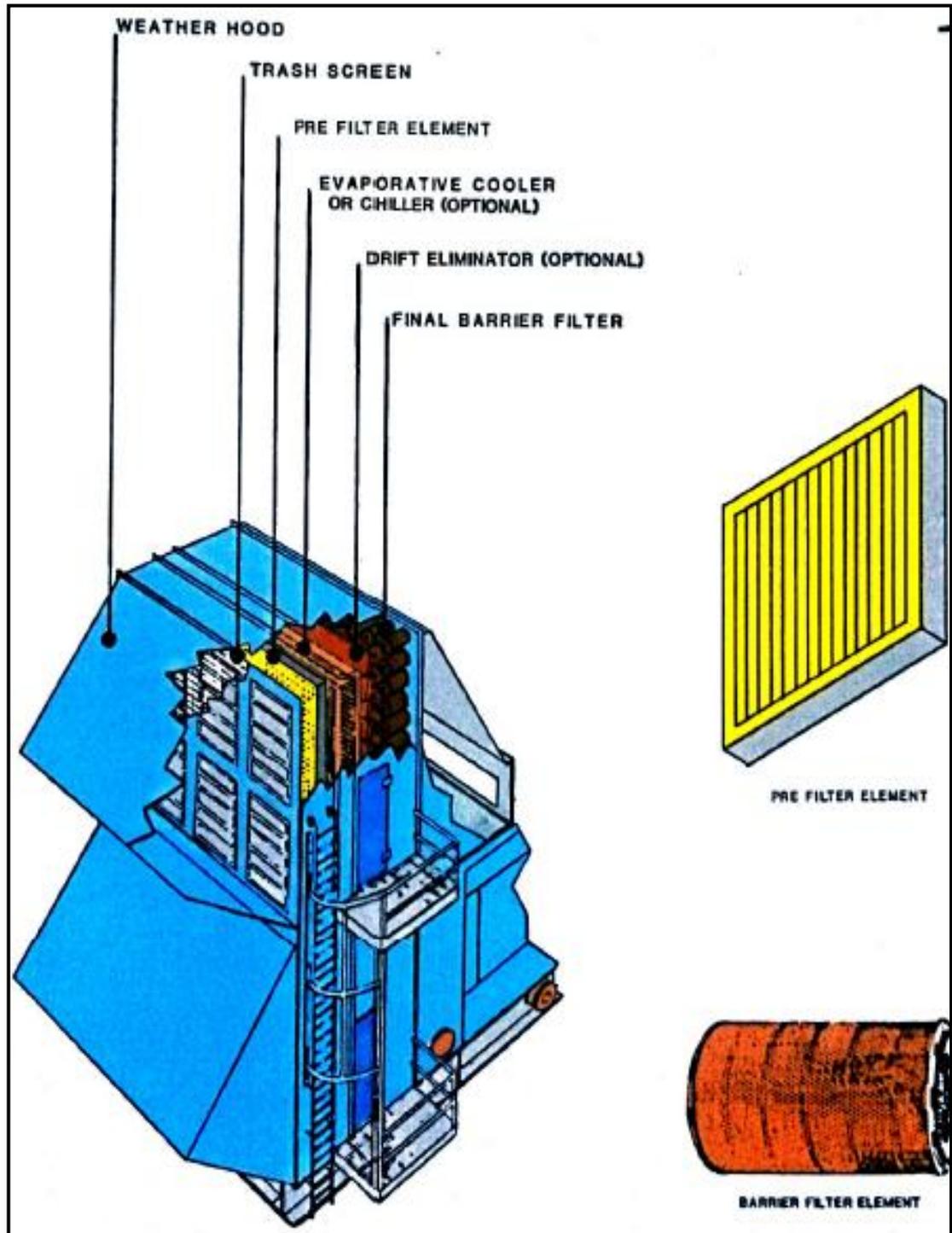
aire se divide en dos corrientes: la una proporciona un flujo para la combustión y enfriamiento de la turbina y la otra proporciona un flujo para la ventilación del recinto. En la Figura 1.7 se describe la disposición del sistema de filtrado de aire en las turbinas LM2500.

**Figura 1.6 Sistema de filtrado de aire de las turbinas LM2500**



**Fuente:** Curso Básico de Turbinas (GE, Turbine LM2500)

Figura 1.7 Disposición de filtros de aire de las turbinas LM2500



Fuente: Curso Básico de Turbinas (GE, Turbine LM2500)

➤ **Erosión de los álabes del compresor**

La erosión de los álabes del compresor se le atribuye generalmente a las partículas en suspensión del aire con un tamaño superior a los 5 micrones (0,0002 pulgadas). El efecto de la erosión en el compresor es doble. Primero, causa desgaste del filo delantero del álabe, lo cual causa el cambio de su ángulo de ataque; y segundo, causa adelgazamiento del filo de arrastre lo cual deteriora la fortaleza ante la fatiga. El resultado es una degradación del rendimiento global.

➤ **Fouling del compresor**

Por facilidad de comprensión el término “fouling” se lo usa para describir la acción de ensuciamiento por escamas que se adhieren a los álabes del compresor debido a la ingestión de materiales adhesivos tales como vapor de aceite humo, sal marina, o vapores industriales. Estos contaminantes son generalmente del rango de 10 micrones (0,0004 de pulgada).

El fouling reduce la eficiencia del compresor, baja la presión de descarga del compresor y resulta en una reducción de la potencia de salida para una temperatura de entrada/salida dada con la correspondiente reducción en la eficiencia del combustible. Esta es causa más frecuente de pérdida de eficiencia de la turbina de gas. Las estimaciones nos dicen que aproximadamente el 70% del total de pérdida de eficiencia de la turbina puede usualmente atribuirse a la deterioración del compresor debido al fouling de los álabes.

➤ **Sistema de lavado on/off line**

El ingreso de partículas transmitidas por el aire, cuyo tamaño va desde submicrones a 10 micrones, causa la suciedad de los álabes del compresor, la misma que a su vez puede provocar reducción de la eficiencia del compresor y con ello menor presión de descarga resultando en una salida reducida para una temperatura del gas de escape dada, o una más alta temperatura de encendido para una salida dada, además de un incremento en el consumo de combustible y por ende mayores costos de operación. Adicional puede generar:

- Vibración por condiciones de desbalance.

- Falla de álabes debido a la excitación de los mismos fuera de sus límites de diseño.
- Falla del cojinete de empuje.

Para evitar la acumulación de suciedad en el compresor se emplea el Lavado On/Off Line, el mismo que es una técnica delicada, donde se pretende disolver los depósitos en un solvente mezclado con agua destilada.

Para realizar esta limpieza se emplean dos métodos:

- Lavado on-line
- Lavado off-line

El lavado on-line es realizado mientras la unidad está operando, se utiliza agua destilada y consiste en un ciclo de lavado (10 minutos), uno de purga (1 minuto), uno de enjuague (opcional) y otro de purga.

El ciclo de purga usa aire comprimido y filtrado a 3 micrones a una presión entre 80-120 psig. El manifold expulsa la solución a una rata de flujo de 4 – 5 gpm. El problema con este tipo de limpieza es que los contaminantes nuevamente se depositan en los álabes aguas abajo. (Logrando solo lavado de las primeras etapas).

El lavado off-line se lo realiza cuando la máquina no se encuentra en funcionamiento y su temperatura es menor a 200 °F. No produce evaporación de líquido, algunas válvulas de aire de compresor y tuberías usadas para propósitos de enfriamiento y sellado deben ser taponadas para prevenir que la mezcla no escape o entre hacia áreas internas de la máquina.

Se utiliza una mezcla de 1 parte de solvente (Conntect 6000) a 4 partes de agua destilada. Consiste en un ciclo de lavado, uno de purga, uno de remoje (usualmente de 15 a 30 minutos), uno de enjuague y otro de purga.

Para el ciclo de enjuague se usa agua a una temperatura en el rango de 150 a 180°F. Después del período de remojo, el procedimiento de inyección es repetido, ésta vez solo con agua destilada hasta lograr un enjuague del solvente en la máquina. El manifold expulsa la solución a una rata de flujo de 16gpm.

### ➤ **Combustibles**

Los combustibles de la turbina varían ampliamente en su poder calorífico, composición, contaminantes presentes en ellos, viscosidad y otras propiedades físicas. Cada combustible debe ser considerado separadamente en términos de las facilidades de tratamiento del combustible. Y los posibles efectos en el rendimiento, confiabilidad, y mantenimiento de la turbina. La Tabla 1.1 resume algunas de las propiedades del combustible y sus efectos.

**Tabla 1.1 Características del combustible de la turbina de gas**

<b>PROPIEDAD</b>	<b>CARACTERÍSTICA ASOCIADA</b>
Valor calórico	Consumo específico de combustible
Viscosidad	Facilidad de bombeo, atomización, ignición,
Punto de ignición	Seguridad de contraincendio
Punto de congelamiento	Capacidad de bombeo en ambiente de baja temperatura
Temperatura de destilación	Evaporación, ignición, emisiones en vacío, formación de carbón
Contenido de azufre	Corrosión, emisiones

**Fuente:** Curso Básico de Turbinas (Medanito, 2005)

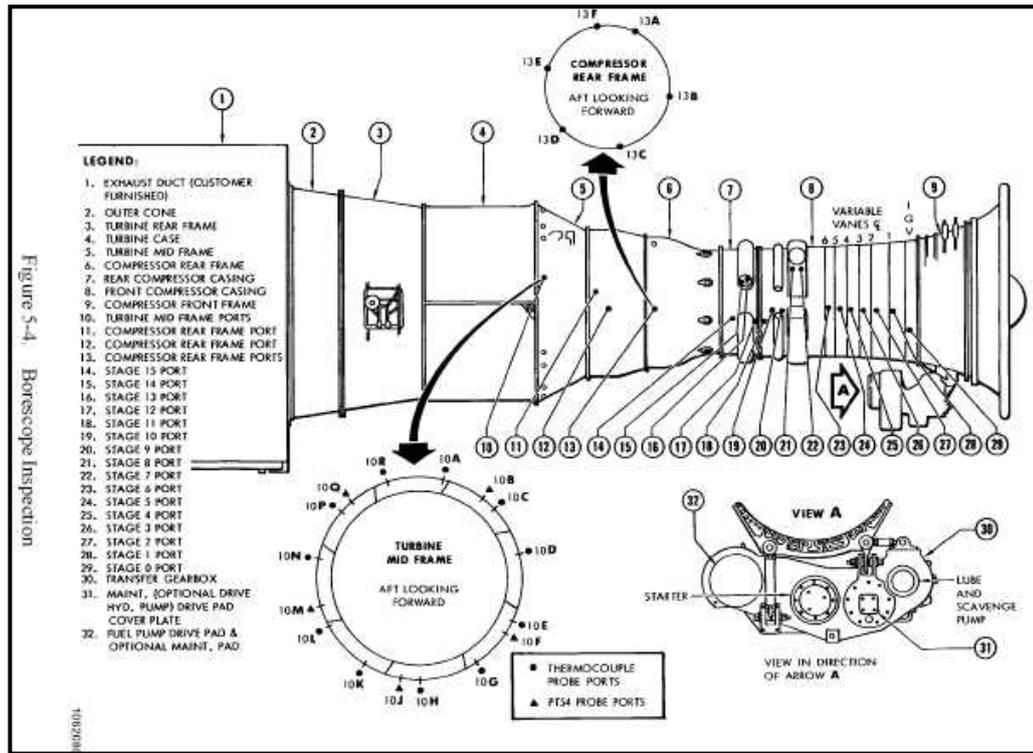
### **1.2.6 La inspección boroscópica**

El boroscopio es una herramienta especialmente valiosa en la búsqueda de fallas de algunos problemas en las turbinas de gas. Este puede ser utilizado para confirmar un defecto o para eliminar esa parte o área de la lista de sospecha. Es también muy útil para examinar las partes calientes, sin desarmar nada, también sirve para determinar el grado de empeoramiento o descompostura y estimar el tiempo de una inspección o reparación programadas.

Este equipo contiene un cable de fibra óptica que transporta una luz guía que ilumina la parte inspeccionada y mediante lentes y fibra óptica llevan la imagen al observador.

En la Figura 1.8 se presenta los pórticos de inspección con los que cuenta una turbina LM2500.

**Figura 1.8 Pórticos de boroscopia en una turbina LM2500**



**Fuente:** Curso Básico de Turbinas (Medanito, 2005)

### 1.2.7 El Mantenimiento

Según Muñoz, Ma. Belén (Muñoz, 2003) se puede definir al mantenimiento como “el control constante de las instalaciones y/o componentes, así como del conjunto de trabajos de reparación y revisión necesarios para garantizar el funcionamiento regular y el buen estado de conservación de un sistema”.

Además Muñoz, Ma. Belén (Muñoz, 2003) establece que los objetivos del mantenimiento son:

- Evitar, reducir y, en su caso, reparar los fallos.
- Disminuir la gravedad de los fallos que no se puedan evitar.
- Evitar detenciones inútiles o paros de máquina.
- Evitar accidentes.
- Conservar los bienes productivos en condiciones seguras de operación.
- Reducir costes.
- Prolongar la vida útil de los bienes.

Según afirma Gómez de León (Gómez de León, 1998) los tipos de mantenimiento que se tiene en la industria son:

- Mantenimiento correctivo
- Mantenimiento preventivo
- Mantenimiento predictivo
- Mantenimiento productivo total

Según Gómez de León (Gómez de León, 1998) afirma que en el *mantenimiento correctivo* “sólo se interviene en los equipos cuando el fallo ya se ha producido. Se trata, por lo tanto, de una actitud pasiva, frente a la evolución del estado de los equipos, a la espera de la avería o fallo”.

En lo referente al *mantenimiento preventivo* Muñoz, Ma. Belén (Muñoz, 2003) establece que “es el conjunto de actividades programadas de antemano encaminadas a reducir la frecuencia y el impacto de los fallos”.

Por otra parte Gómez de León (Gómez de León, 1998) dice sobre el *mantenimiento predictivo* que “surge como respuesta a la necesidad de reducir los costes de los métodos tradicionales -correctivo y preventivo- de mantenimiento. La idea básica de este mantenimiento parte del conocimiento del estado de los equipos”.

Finalmente Muñoz, Ma. Belén (Muñoz, 2003) acerca del mantenimiento productivo total establece que esta definición viene del concepto de cada una:

Mantenimiento: Mantener las instalaciones siempre en buen estado.

Productivo: Enfocado al aumento de productividad.

Total: Implica a la totalidad del personal (no sólo al servicio de mantenimiento).

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

Este capítulo hace referencia a la estrategia de investigación llevada a cabo para el estudio y la respectiva interpretados los datos.

#### **2.1 Modalidad de la investigación**

Según José Cegarra Sánchez, Metodología de la investigación científica (Cegarra, 2011) establece que: “En un sentido amplio, investigar significa el efectuar diligencias para esclarecer una cosa, constituyendo la investigación el proceso empleado durante el esclarecimiento del objeto a investigar.”

A su vez Mario Tamayo y Tamayo, El proceso de la investigación científica (Tamayo y Tamayo, 2004) nos indica que: “Cuando se va a resolver un problema en forma científica, es muy conveniente tener un conocimiento detallado de los posibles tipos de investigación que se pueden seguir. Este conocimiento hace posible evitar equivocaciones en la elección del método adecuado para un procedimiento específico.”

En tal virtual en el presente trabajo emplea la siguiente metodología de investigación:

- Observación
- Inductivo – deductivo
- Análisis – síntesis

##### **2.1.1 Observación**

En la publicación de José Cegarra Sánchez (Cegarra, 2011) sobre la observación dice que: “La observación es algo más que “mirar” y requiere una concentración sobre y en lo que se observa, a fin de poder discernir entre lo importante y lo accesorio”.

Con la observación se puede identificar el comportamiento actual de las turbinas así como datos puntuales de rendimiento en los años anteriores.

### **2.1.2 Método inductivo**

De acuerdo a Víctor Patricio Díaz Narváez, Metodología de la investigación científica y bioestadística (Díaz, 2009) menciona que: “Es posible definir la inducción como una forma de razonamiento por medio de la cual se transita del conocimiento de casos particulares a un conocimiento más general.”

José Cegarra Sánchez Metodología (Cegarra, 2011) establece que el método inductivo: “Consiste en basarse en *enunciados singulares*, tales como descripciones de los resultados de observaciones o experiencias para plantear *enunciados universales*, tales como hipótesis o teorías”.

En la presente investigación se emplea el método inductivo ya que mediante una colección de datos experimentales del rendimiento de las turbinas se puede elaborar una propuesta de mejora de las mismas.

### **2.1.3 Método deductivo**

Según José Cegarra Sánchez (Cegarra, 2011) acerca del método deductivo establece que: “Es el camino lógico para buscar la solución a los problemas que nos planteamos. Consiste en emitir hipótesis acerca de las posibles soluciones al problema planteado y en comprobar con los datos disponibles si estos están de acuerdo con aquéllas.”

Este método es implementado en la investigación a fin de encontrar soluciones lógicas referentes a mejorar el rendimiento de las turbinas.

### **2.1.4 Método de análisis**

Víctor Patricio Díaz Narváez (Díaz, 2009) dice que: “El análisis es una operación intelectual que posibilita descomponer mentalmente un todo complejo en sus partes y cualidades, en sus múltiples relaciones y componentes.”

Con la implementación de este método se puede interpretar cada uno de los sistemas de las turbinas enfocados siempre en la determinación de aspectos a mejorar en términos del rendimiento.

### **2.1.5 Método de síntesis**

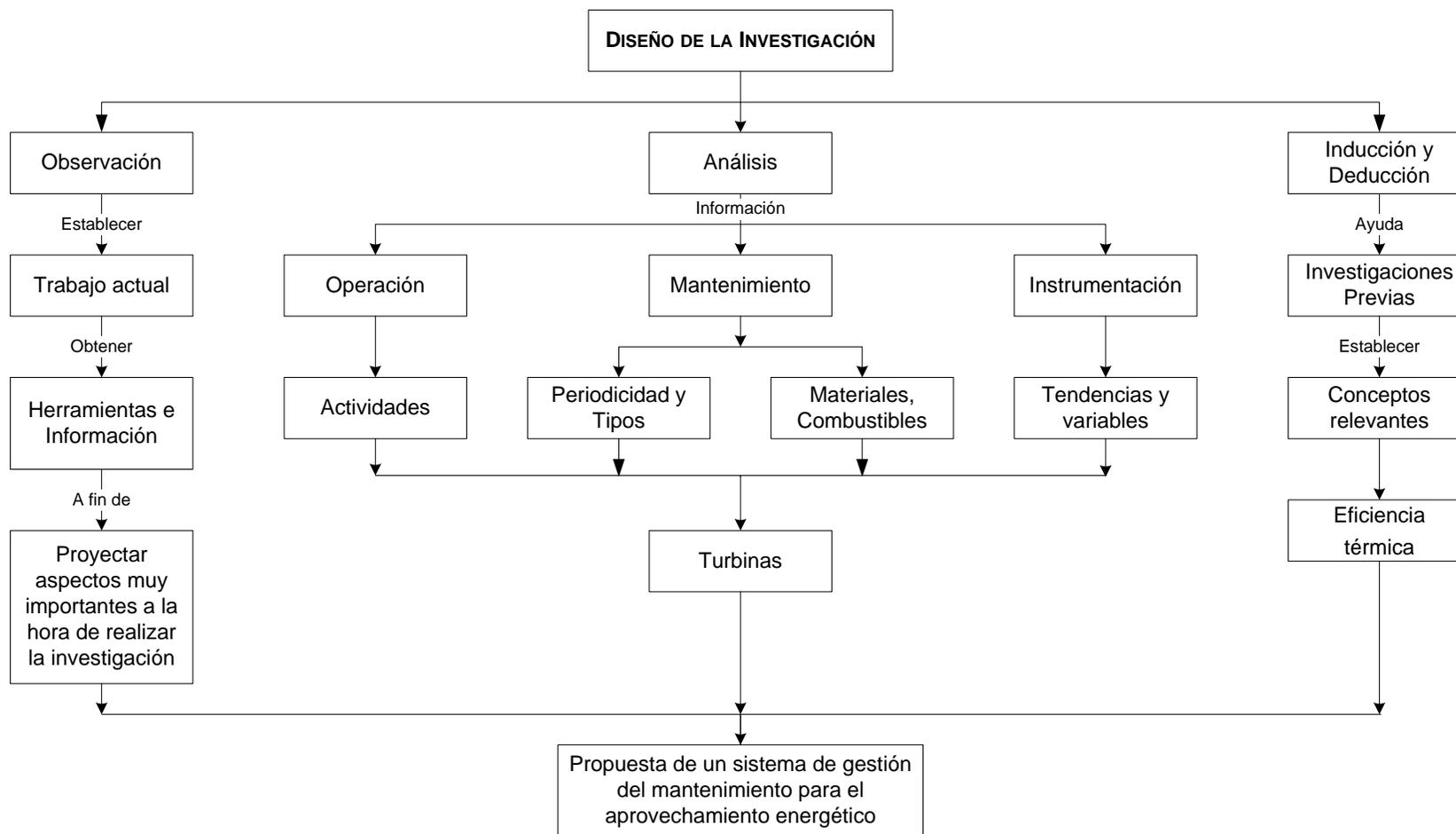
Víctor Patricio Díaz Narváez (Díaz, 2009) dice que: “La síntesis establece mentalmente la unión entre las partes, previamente analizadas y posibilita descubrir relaciones y características generales entre los elementos componentes de un fenómeno o proceso.”

Finalizando la investigación se pretende elaborar un informe donde se detallan los aspectos en los cuales se debe enfocar el mantenimiento a fin de garantizar un rendimiento óptimo de las turbinas LM2500.

## **2.2 Diseño de la investigación**

La investigación se la desarrolla como se muestra en la Figura 2.1, y se inicia con una fase de observación. Es la más adecuada para este tipo de estudio puesto que nos ayuda a establecer de manera más detallada la situación de trabajo de las turbinas y nos brinda mayor cantidad de herramientas que nos permiten proyectar aspectos muy importantes a la hora de realizar la investigación. Este estudio recolectará información referente a la operación y mantenimiento de las turbinas, las diferentes actividades realizadas en las mismas, los combustibles asociados al proceso y construirá un perfil que reflejará fielmente el estado en el cual se desarrollan las actividades normalmente. Por medio de investigaciones previas, se identificarán y se incorporarán, dentro de la estructura de la investigación, asuntos claves y conceptos relacionados a la eficiencia térmica de las turbinas. Con los borradores de los instrumentos de investigación se determinará el estado actual de las turbinas. Finalmente con los datos recolectados en las distintas fases de la investigación se pretende establecer una propuesta la misma que contempla un plan de acciones encaminadas a obtener un incremento en el rendimiento de las turbinas LM2500 del Bloque 16 de Repsol.

**Figura 2.1 Diseño de la Investigación**



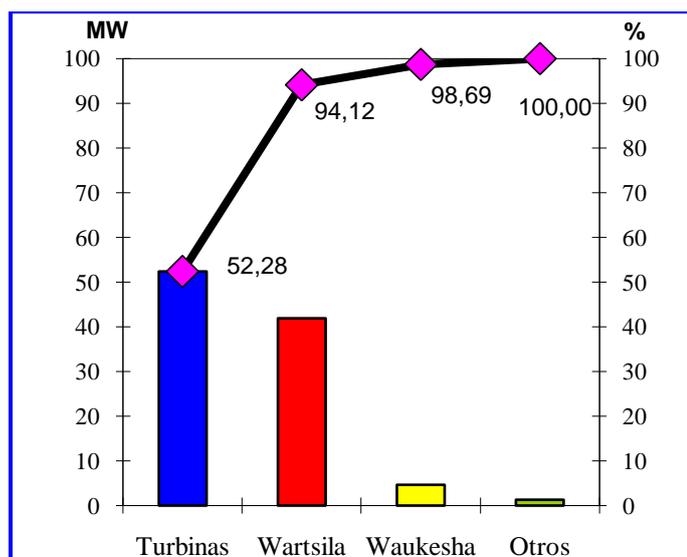
### 2.3 Población y muestra

Mario Tamayo y Tamayo (Tamayo y Tamayo, 2004) conceptualiza a la población como: “la totalidad de un fenómeno de estudio, incluye la totalidad de unidades de análisis o entidades de población que integran dicho fenómeno y que debe cuantificarse para un determinado estudio integrando un conjunto N de entidades que participan de una determinada característica, y se la denomina población por constituir la totalidad del fenómeno adscrito a un estudio o investigación”.

De igual manera el mismo autor conceptualiza Universo como: “cuando para un estudio se toma la totalidad de la población y, por ello, no es necesario realizar un muestreo para el estudio o investigación que se proyecta.”

Finalmente sobre la muestra dice: “a partir de la población cuantificada para una investigación se determina la muestra, cuando no es posible medir cada una de las entidades de población; esta muestra, se considera, es representativa de la población”. En las Tablas 3.1 y 3.2 se muestran las Fuentes de Generación en NPF y SPF respectivamente con las que cuenta Repsol. En la Figura 2.2 se establece el diagrama de Pareto en donde se identifican las principales fuentes que aportan energía al Bloque 16. Como se puede apreciar las turbinas son los de mayor aporte de energía con un 52.28%.

**Figura 2.2 Diagrama de Pareto Generación Eléctrica de Repsol**



**Fuente:** El postulante

Para el presente estudio donde el universo de generación eléctrica con turbinas LM2500 son las tres unidades con las que cuenta Repsol no se ha establecido muestra alguna.

El análisis resultante de este estudio servirá para las tres turbinas debido a que son del mismo modelo LM2500 y de iguales características, siempre teniendo presente que la única variación que se tiene es en el tipo de combustible ya que dos trabajan con diésel y la restante turbina es del tipo dual (trabaja con gas o diésel).

#### **2.4 Operacionalización de las variables**

Dos variables de interés surgieron de la investigación y se las muestra en la Tabla 2.1. Estas fueron las siguientes:

1. El análisis del rendimiento de las turbinas de Repsol ya que de esta manera se pueden identificar los factores que afectan la eficiencia en la turbinas.
2. La gestión de mantenimiento de las turbinas debido a que es un factor importante en su desempeño y es aquella acción que nos permite obtener un mejor análisis de las condiciones de las turbinas.

**Tabla 2.1 Operacionalización de las variables**

**VARIABLE INDEPENDIENTE:** Análisis del rendimiento térmico de las turbinas LM2500.

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Es la relación existente entre la cantidad de energía que consume el sistema versus la cantidad de energía que entrega, tomando en cuenta las pérdidas	Análisis Energético	Potencia disponible	kW	Mediciones	Medidores de Energía
		Consumo de combustible	gpm	Mediciones	Transmisores de flujo
		Rendimiento	%	Mediciones	Analizador de redes

**VARIABLE DEPENDIENTE:** Plan de gestión del mantenimiento para el aprovechamiento energético.

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Diligencia de operaciones de diagnóstico, predicción, prevención y corrección necesarios para mantener una turbina funcionando adecuadamente	Mantenimiento aplicado	Periodicidad	h	Cálculo	Estadística
		Costos	\$	Cálculo	Estadística
		Rendimiento	%	Cálculo	Estadística

**Fuente:** El postulante

## 2.5 Instrumentos de la investigación

La recolección de la información primaria será por medio de la observación. Adicional se emplearán instrumentos de medición de las condiciones técnicas de las turbinas a fin de establecer los aspectos indicados en la Tabla 2.1 de operacionalización de las variables.

### 2.5.1 Potencia disponible

Para la medición de la potencia que generan las turbinas se emplea el relé G60, los datos adquiridos de este dispositivo son tomados cada mañana y forman parte de los reportes emitidos de generación y producción.

#### ➤ G60 Generator Management Relay

El Relé G60 que se muestra en la Figura 2.3 es un relé basado en microprocesador que proporciona protección, supervisión, control, y registro de funciones para generadores AC manejados por turbinas de vapor, gas o hidráulicas. Proporciona protección de corriente, voltaje y de frecuencia con diagnósticos de la falla. La medición de voltaje, corriente, y potencia está presente en el relé como una característica normal. El relé G60 proporciona una comunicación avanzada vía ethernet.

**Figura 2.3 Relé G60**



**Fuente:** (GE I. S., 2009)

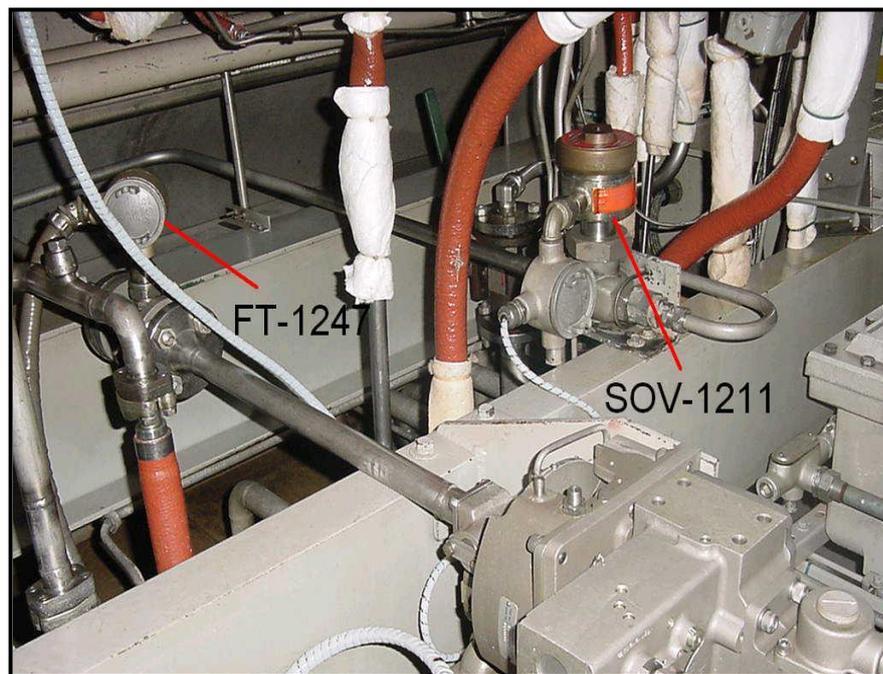
## 2.5.2 Consumo de diésel

El consumo de diésel es una variable de suma importancia en el desarrollo de las operaciones de Repsol debido a su costo de producción, para la medición se emplea el siguiente transmisor:

### ➤ Transmisor de flujo FT-1247

El dispositivo encargado de la medición del consumo de diésel durante el día es el FT-16C3XB-LEA-5 de Flow Technology. En la Figura 2.4 se muestra el dispositivo FT-1247 instalado en la turbina TR-1170A además se observa la SOV-1211 la misma que es una electro válvula que sirve para cortar el paso de diésel cuando se requiere de ello.

**Figura 2.4 Transmisor de Flujo FT-1247**



**Fuente:** Turbina TR-2170B, Repsol 2015

Este transmisor de flujo es usado en una amplia variedad de aplicaciones como automóviles, pruebas aeroespaciales, sistemas de control submarinos, sistemas de control en turbinas aeroderivativas, así como también en mediciones de flujo en aplicaciones industriales. Las principales características son:

- Diseñado para amplio rango de aplicaciones a gas o diésel.
- Precisión de  $\pm 0.25\%$
- Repetitividad de  $\pm 0.05\%$  para diesel y  $\pm 0.1\%$  para gas.
- Excelente velocidad de respuesta.
- Linealidad de  $\pm 0.1\%$  (100:1).
- Rata de flujo con diésel de 0.03 a 1,500 GPM (0.11 a 5,677 LPM).
- Rata de flujo a gas de 0.09 a 1,500 ACFM (2.55 a 42,480 LPM).
- Presión máxima de 2000 Bar (30,000 psi).

### **2.5.3 Rendimiento de las turbinas LM2500**

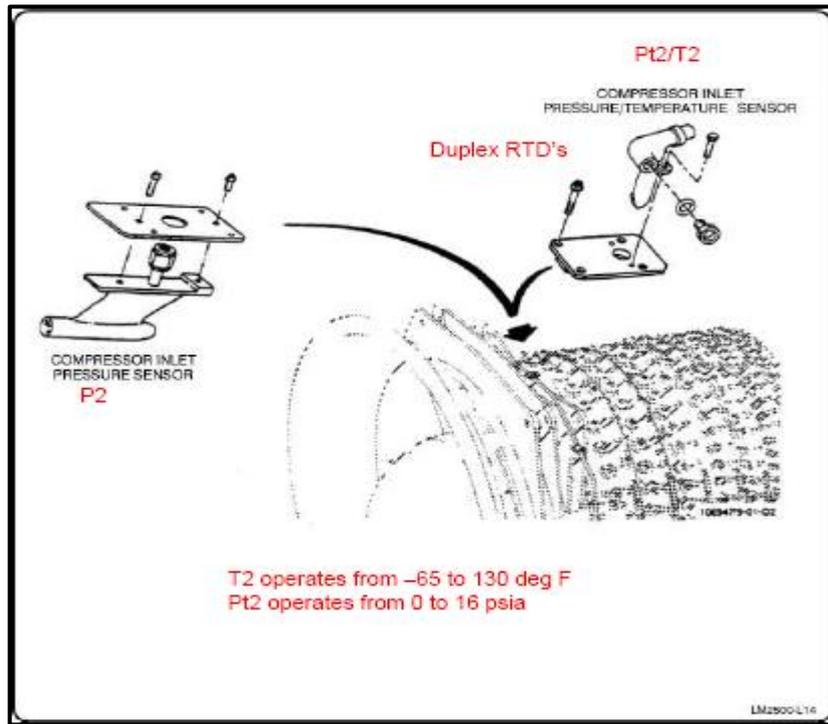
Para cuantificar el rendimiento de la turbina así como también para identificar aspectos técnicos de las variables del proceso se emplean diferentes sensores. Estos sensores son los propios con los que cuentan actualmente las turbinas y realizan su trabajo normalmente. La validación del correcto funcionamiento de estos dispositivos se los realiza en cada uno de los mantenimientos de las turbinas.

#### **➤ Medición de la temperatura de ingreso de aire a la turbina (CIT)**

El sensor AD590 es un sensor de temperatura integrado, realiza la medición de temperatura termodinámica, produce una salida de corriente proporcional a la temperatura absoluta. El sensor de temperatura integrado tiene una buena linealidad y precisión moderada, alta sensibilidad, tamaño pequeño, facilidad de uso y son ampliamente utilizados. Presenta una salida de corriente lineal de 1  $\mu\text{A}/^\circ\text{K}$ .

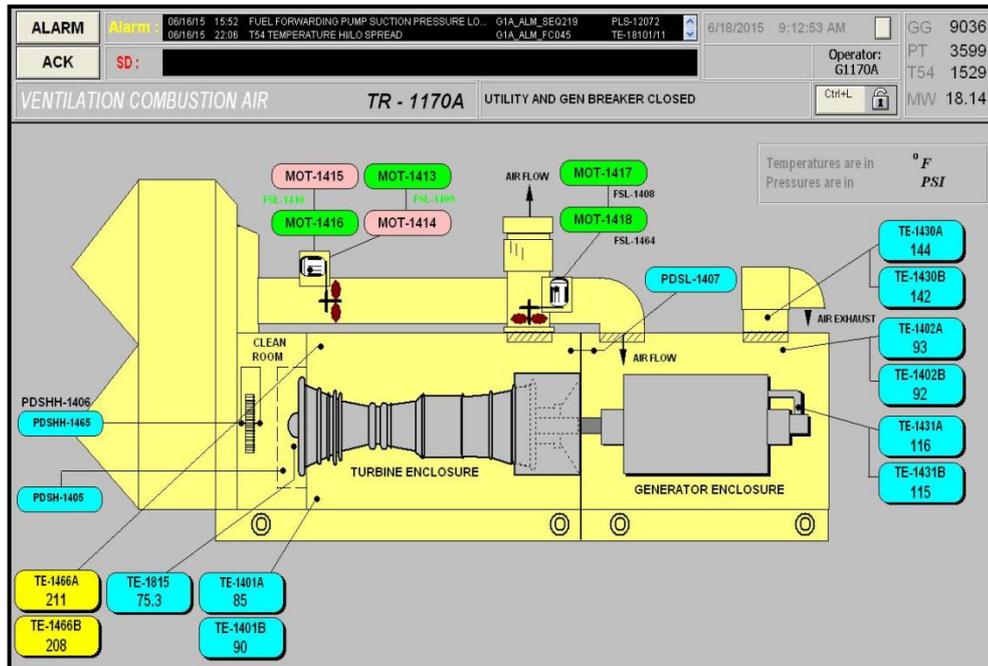
En la Figura 2.5 se observa la ubicación del sensor en la turbina, en la Figura 2.6 se presenta el sistema de ventilación de la TR-1170A en donde el sensor TE-1815 presenta la medición de la temperatura de ingreso de aire a la turbina en grados Fahrenheit [ $^\circ\text{F}$ ]. En el Anexo 11 se muestran las características de este sensor.

Figura 2.5 El sensor AD590 T2



Fuente: (GE, LM2500 Gas Turbine Familiarization, 2012)

Figura 2.6 Sistema de Ventilación TR-1170A

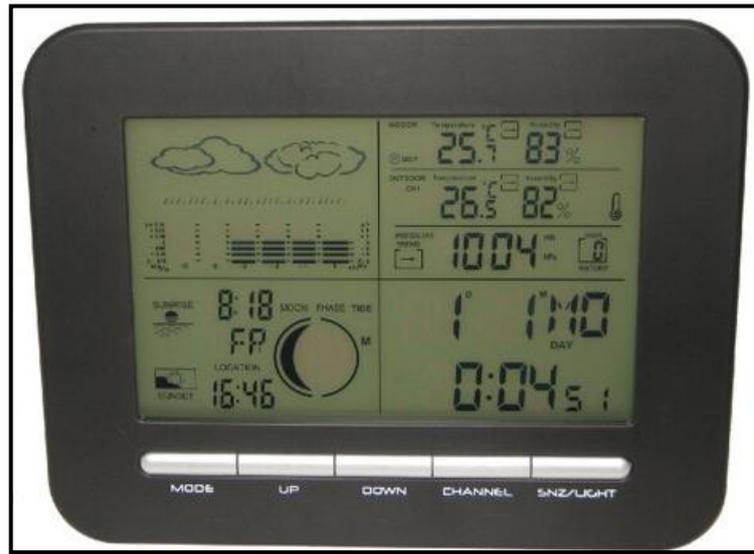


Fuente: SCADA de Generación TR-1170A, Repsol 2015

➤ **Medición de la Presión atmosférica**

Se mide esta variable empleando los barómetros que vienen en los relojes digitales.

**Figura 2.7 Reloj digital para medición de la presión atmosférica**



**Fuente:** Medidor digital en NPF, Repsol 2015

➤ **Medición de gases a la atmósfera**

Los analizadores de gases son equipos de mediciones de niveles de contaminación en gases a la atmósfera.

El testo 350-S/-XL que se muestra en la Figura 2.8 es un sistema de medición portátil y versátil. Según los requerimientos y deseos del cliente consiste en una unidad de control, el analizador de productos de la combustión y una sonda de muestreo.

Una medición exacta resulta indispensable cuando se controlan emisiones, termoprocesos o cuando se ajusta el rendimiento económico de un sistema. El testo 350-S/-XL, dispone de un amplio visualizador que facilita la lectura; es el instrumento ideal para un ajuste profesional y el mantenimiento regular de sus sistema.

**Figura 2.8 Testo 350 XL**



**Fuente:** (Testo)

➤ **Inspecciones boroscópicas**

Para realizar una boroscopía de las turbinas se emplea el boroscopio Olympus modelo Iplex FX que se muestra en la Figura 2.9.

Este videoscopio industrial combina portabilidad con alto desempeño, es altamente confiable, sencillo y con elevada funcionalidad. Su manejo es sencillo y durable. Con alta calidad de imagen, la versatilidad del IPLEX FX proporciona varios beneficios más allá de su experiencia.

**Figura 2.9 Videoscopio Olympus Iplex FX**



**Fuente:** (Olympus)

➤ Registros de computadora para analizar datos adquiridos antes de la investigación.

➤ Computadores que serán los diseñados para procesar toda la información obtenida en la investigación.

## **2.6 Fuentes de información**

Para el desarrollo del presente trabajo se establecieron las siguientes fuentes de información:

- Observación de campo a fin de determinar las condiciones en las cuales se desarrolla el proceso y poder realizar la propuesta en base a ello.
- Empleo de registros y reportes con datos de producción, generación y consumo de combustibles.
- Uso del sistema Scada de cada turbina a fin de buscar datos y tendencias históricas del comportamiento de los diferentes sistemas y variables de las turbinas.
- Documentación técnica en la web que será una fuente de consulta especialmente para investigar proyectos similares realizados a nivel mundial.
- Libros y manuales que contengan información sobre turbinas de gas y eficiencia térmica.
- Boletines técnicos a fin de actualizar conocimientos de acuerdo a nuevas publicaciones de los diferentes fabricantes de turbinas en el mundo.

## CAPÍTULO III

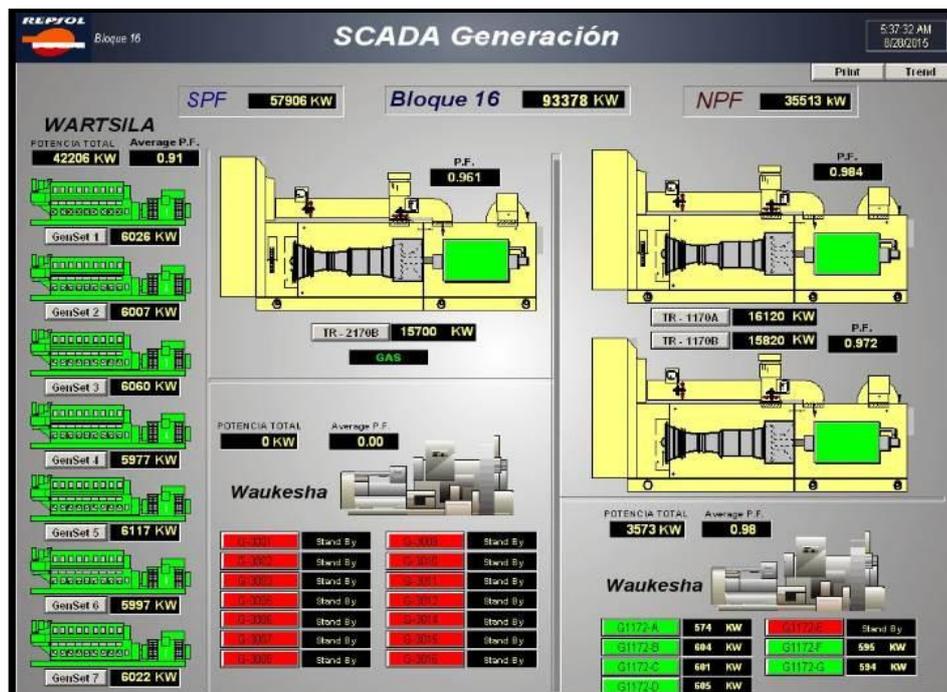
### ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En el presente capítulo se presenta el análisis e interpretación de los datos obtenidos en la operación y funcionamiento de las turbinas LM2500 de Repsol. Estos datos son obtenidos a partir de los instrumentos mencionados en Capítulo II. Los resultados se enfocarán en determinar la eficiencia a la cual están trabajando actualmente las turbinas LM2500.

#### 3.1 Características generales de Repsol

En el Scada de la Figura 3.1 se muestra la distribución de las fuentes de generación del Bloque 16 de Repsol. Estos equipos están distribuidos tanto en el campo NPF (North Production Facilities) como en el campo SPF (South Production Facilities).

**Figura 3.1 Distribución de las fuentes de generación de Repsol**



Fuente: Scada de Generación, Repsol 2015

En la Tabla 3.1 se muestran los equipos con los que cuenta el campo NPF con sus respectivas capacidades de generación.

**Tabla 3.1 Fuentes de Generación en NPF**

<b>NPF</b>				
<b>Tipo</b>	<b>Tag</b>	<b>Marca</b>	<b>Tipo de Combustible</b>	<b>Potencia [MW]</b>
Turbinas	TR-1170A	GE	Diésel	17,5
	TR-1170B	GE	Diésel	17,5
Motor de combustión interna	GE-1172A	Waukesha	Gas	0,85
	GE-1172B	Waukesha	Gas	0,85
	GE-1172C	Waukesha	Gas	0,85
	GE-1172D	Waukesha	Gas	0,85
	GE-1172E	Waukesha	Gas	0,85
	GE-1172F	Waukesha	Gas	0,85
	GE-1172G	Waukesha	Gas	0,85

**Fuente:** El postulante

En la Tabla 3.2 se muestran los equipos con los que cuenta el campo SPF con sus respectivas capacidades de generación.

**Tabla 3.2 Fuentes de Generación en SPF**

<b>SPF</b>				
<b>Tipo</b>	<b>Tag</b>	<b>Marca</b>	<b>Tipo de Combustible</b>	<b>Potencia [MW]</b>
Turbina	TR-2170B	GE	Gas - Diésel	17,5
Motor de combustión interna	GE-3001	Waukesha	Gas	0,85
	GE-3002	Waukesha	Gas	0,85
	GE-3003	Waukesha	Gas	0,85
	GE-3005	Waukesha	Gas	0,85

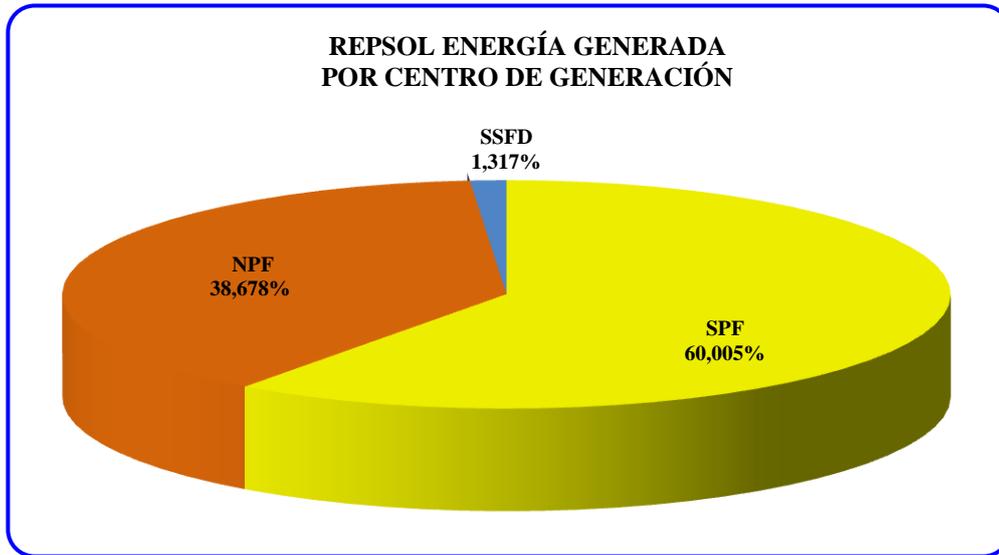
GE-3006	Waukesha	Gas	0,85
GE-3007	Waukesha	Gas	0,85
GE-3008	Waukesha	Gas	0,85
GE-3009	Waukesha	Gas	0,85
GE-3010	Waukesha	Gas	0,85
GE-3011	Waukesha	Gas	0,85
GE-3012	Waukesha	Gas	0,85
GE-3014	Waukesha	Gas	0,85
GE-3015	Waukesha	Gas	0,85
GE-3016	Waukesha	Gas	0,85
GE-3170A	Wartsila	Crudo	6,1
GE-3170B	Wartsila	Crudo	6,1
GE-3170C	Wartsila	Crudo	6,1
GE-3170D	Wartsila	Crudo	6,1
GE-3170E	Wartsila	Crudo	6,1
GE-3170F	Wartsila	Crudo	6,1
GE-3170G	Wartsila	Crudo	6,1

**Fuente:** El postulante

Del total de la generación de Repsol se puede establecer que en NPF se producen 34.67 MW que corresponde al 38.7%, mientras que en SPF se tiene 60.56 MW que es el 60% y en Shushufindi se produce el 1.31% tal como se muestra en la Figura 3.2.

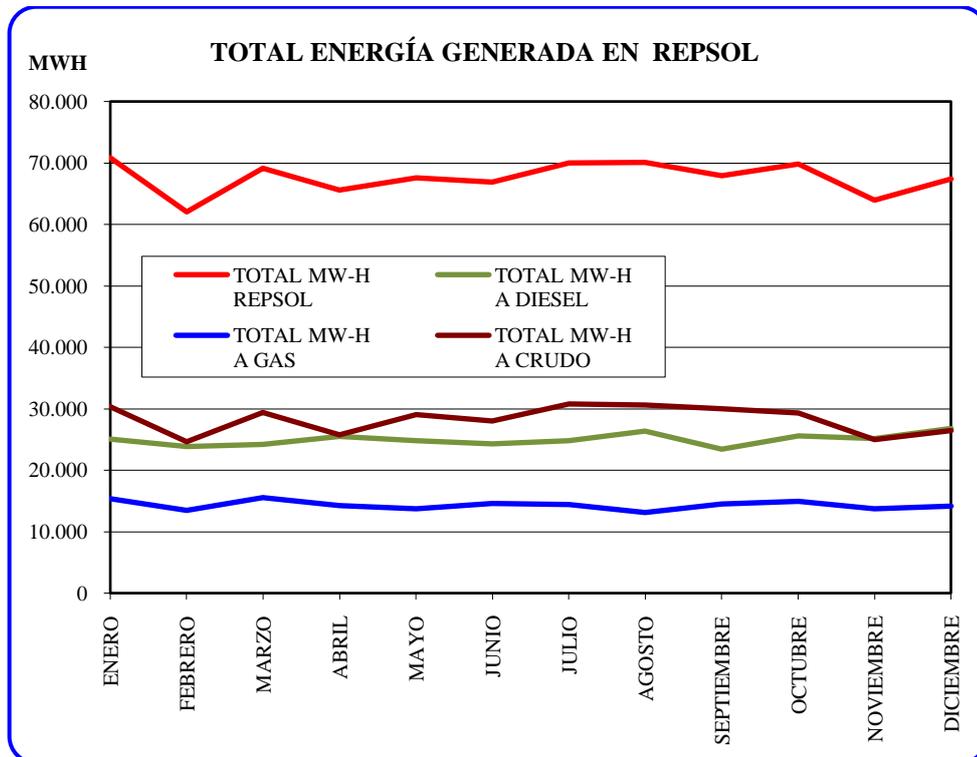
En la Figura 3.3 se analiza la energía generada de acuerdo al tipo de combustible empleado (crudo, gas natural que se extrae del proceso de separación del crudo y diésel) según su campo de operación.

**Figura 3.2 Energía Generada por Campo en Repsol**



**Fuente:** Reportes Anuales, Repsol 2015

**Figura 3.3 Total Energía Generada en Repsol**



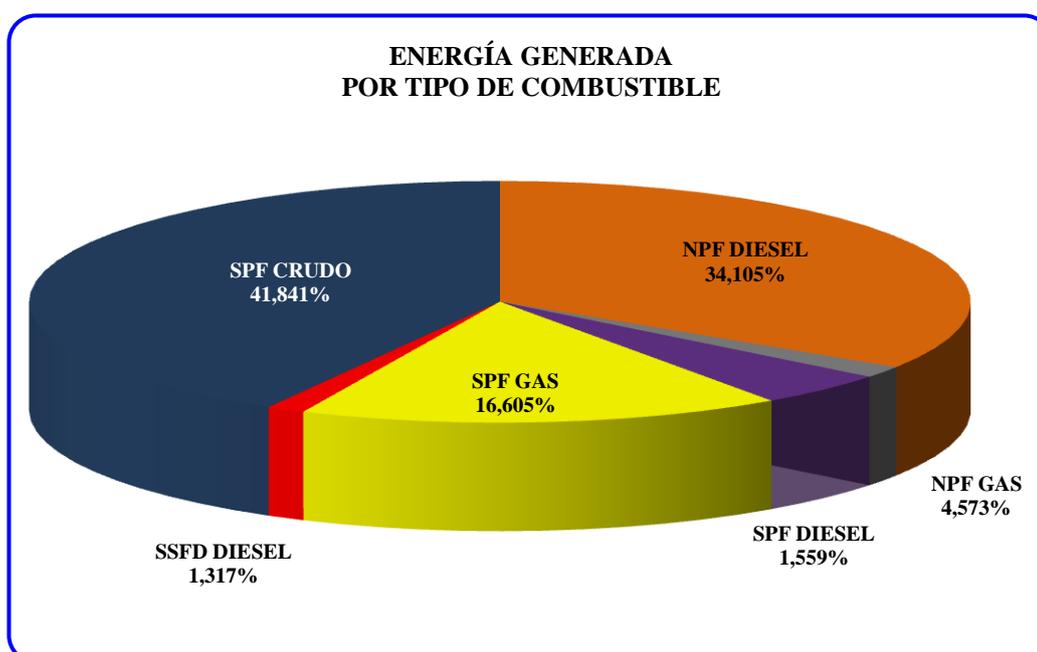
**Fuente:** Reportes Anuales, Repsol 2015

En la Figura 3.4 se puede apreciar que la generación NPF a diésel corresponde el 34,1% siendo esta exclusiva del aporte de las turbinas disponibles en este campo (TR-1170A y TR-1170B mostradas en la Figura 3.5). Además en la Figura 3.4 se observa que la generación SPF a gas es del 16,6% (aporte de la turbina TR-2170B mostradas en la Figura 3.6). Sumadas entre las tres turbinas se tiene un aporte de 50,71% del total de la generación del Bloque 16.

A este valor se debería sumar también el 1,6% de la generación a diésel de SPF que en parte corresponde a la operación de la turbina TR-2170B cuando esta trabaja con ese combustible.

De este análisis se puede destacar la importancia de las tres turbinas en el aporte de energía al Bloque 16 de Repsol. El resto de energía necesaria para la extracción de crudo es del aporte de la energía generada con motores Wartsila y motores Waukesha que trabajan con combustible crudo y gas respectivamente.

**Figura 3.4 Energía Generada por el Tipo de Combustible**



**Fuente:** Reportes Anuales, Repsol 2015

**Figura 3.5 Turbinas TR-1170A y TR-1170B del campo NPF**



**Fuente:** Turbinas TR-1170A y TR-1170B, Repsol 2015

**Figura 3.6 Turbina TR-2170B del campo SPF**

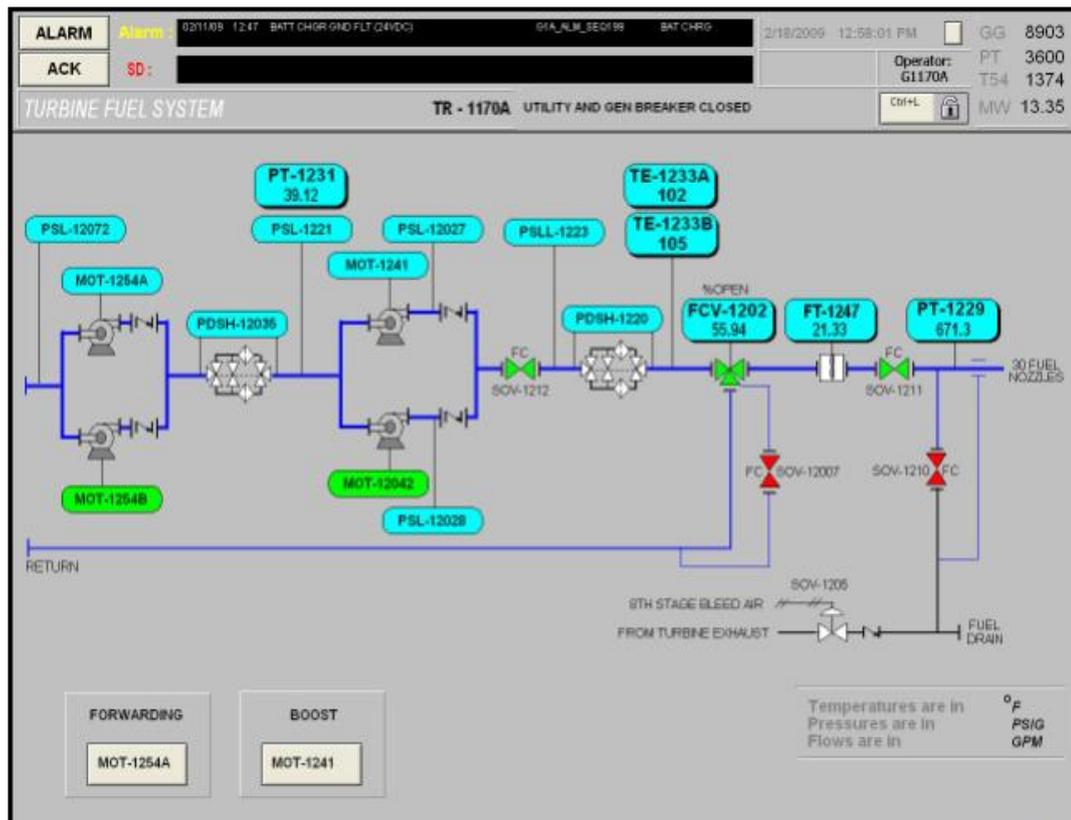


**Fuente:** Turbina TR-2170B, Repsol 2015

### 3.2 Eficiencia térmica de las turbinas LM2500 de Repsol

Para determinar la eficiencia térmica de las turbinas LM2500 de Repsol se ha empleado la información disponible de los instrumentos y Scada propios del sistema de control de las turbinas tal como se muestra en la Figura 3.7.

**Figura 3.7 Scada Sistema de Combustible TR-1170A**



**Fuente:** Scada de Generación TR-1170A, Repsol 2015

En el Capítulo I se establecieron los requerimientos para el cálculo de la eficiencia de una turbina.

El rendimiento eléctrico viene dado por la siguiente expresión:

$$n_m = \frac{W_m}{Q_{comb}}$$

En donde:

$Q_{comb}$  = Energía aportada por el combustible

La ecuación Ec. 3 descrita en el capítulo 1 obtiene la tasa de calor:

$$HR = \frac{\text{Fuel Flow} * \text{Fuel Heating Value}}{\text{Power Output}}$$

En donde:

HR = Heat Rate (Tasa de calor) [BTU/Kwh]

Fuel Flow = Tasa de flujo [gpm]

Fuel Heating Value = Poder calorífico inferior del diésel [BTU/gal]

Power Output = Potencia Generada [KW]

Una vez determinada la tasa de calor de la turbina se obtiene la eficiencia térmica aplicando la fórmula Ec. 4 descrita en el capítulo 1.

$$n = \frac{1}{HR}$$

Con estas expresiones para determinar la eficiencia de las turbinas se ha medido la temperatura de ingreso de aire al compresor CIT (TE-1815), la presión atmosférica, el flujo de combustible (FT-1247), la potencia eléctrica a la cual está trabajando la turbina y el poder calorífico inferior del diésel o del gas empleado como combustible.

El cálculo de la eficiencia de cada una de las turbinas de Repsol se muestra en las Tablas 3.3, 3.4 y 3.5 en donde se ha tomado como consideración que las turbinas TR-1170A y TR-1170B del campo NPF utilizan como combustible diésel, además que la turbina TR-2170B del SPF utiliza la mayor parte del tiempo gas natural.

En la Tabla 3.6 se muestra el resumen de eficiencias de las turbinas durante el año 2013.

**Tabla 3.3 Cálculo de la Eficiencia de la Turbina TR-1170A, Enero 2013**

EFICIENCIA TÉRMICA TURBINA LM2500 TR-1170A (DIÉSEL)								
		T2 (°F)	P1 (HG)	FF (GPM)	POT (MWh)	LHV (BTU/gal)	TE (%)	TE (%) PROMEDIO
ENE 13	SEMANA 1	87,60	29,06	20,04	14,95	134.067	<b>31,65%</b>	<b>30,85%</b>
	SEMANA 2	85,60	29,09	20,71	15,07	134.067	<b>30,87%</b>	
	SEMANA 3	90,00	29,09	20,07	14,41	134.067	<b>30,46%</b>	
	SEMANA 4	91,00	29,06	19,94	14,30	134.067	<b>30,43%</b>	

**Fuente:** El Postulante

**Tabla 3.4 Cálculo de la Eficiencia de la Turbina TR-1170B, Enero 2013**

EFICIENCIA TÉRMICA TURBINA LM2500 TR-1170B (DIÉSEL)								
		T2 (°F)	P1 (HG)	FF (GPM)	POT (MWh)	LHV (BTU/gal)	TE (%)	TE (%) PROMEDIO
ENE 13	SEMANA 1	81,40	29,06	21,03	14,91	134.067	<b>30,08%</b>	<b>30,51%</b>
	SEMANA 2	80,20	29,09	21,10	15,85	134.067	<b>31,87%</b>	
	SEMANA 3	84,80	29,09	21,15	14,82	134.067	<b>29,73%</b>	
	SEMANA 4	91,20	29,06	21,10	15,10	134.067	<b>30,36%</b>	

**Fuente:** El Postulante

**Tabla 3.5 Cálculo de la Eficiencia de la Turbina TR-2170B, Enero 2013**

EFICIENCIA TÉRMICA TURBINA LM2500 TR-2170B (GAS)								
		T2 (°F)	P1 (HG)	FF (SCF/Hr)	POT (MWh)	LHV (BTU/ft3)	TE (%)	TE (%) PROMEDIO
ENE 13	SEMANA 1	75,00	29,50	157.152	18,20	871	45,39%	43,20%
	SEMANA 2	77,00	29,50	161.232	17,20	871	41,81%	
	SEMANA 3	76,00	29,50	155.223	17,00	871	42,92%	
	SEMANA 4	85,00	29,50	155.209	16,90	871	42,68%	

**Fuente:** El Postulante

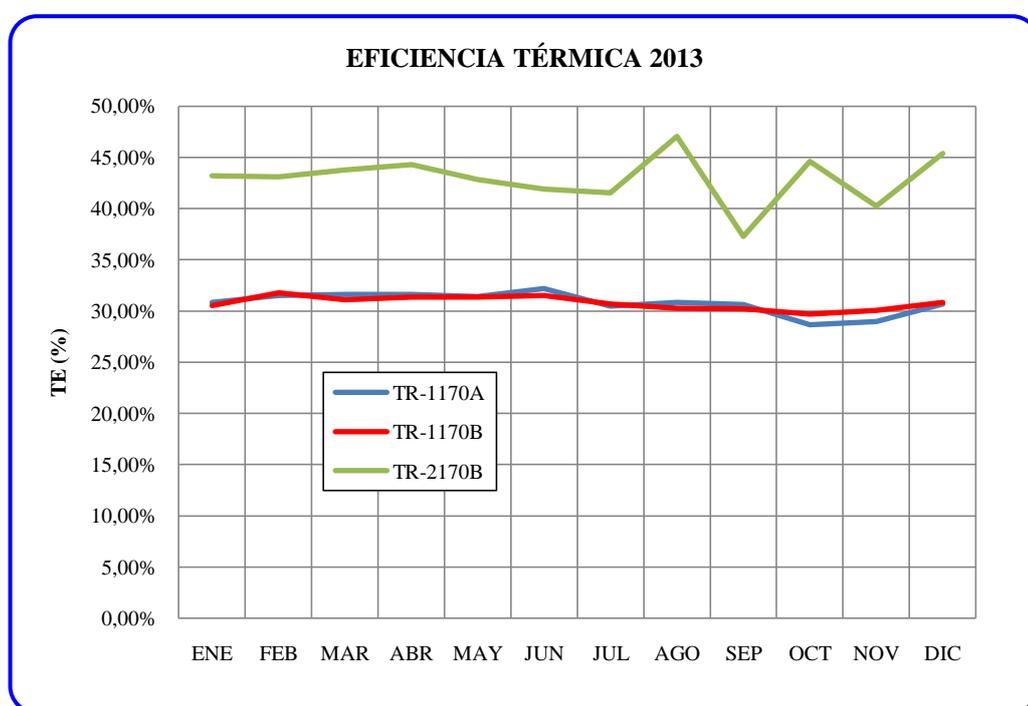
**Tabla 3.6 Eficiencia de las Turbinas, 2013**

	TR-1170A	TR-1170B	TR-2170B
<b>ENE</b>	30,85%	30,51%	43,20%
<b>FEB</b>	31,49%	31,79%	43,11%
<b>MAR</b>	31,63%	31,08%	43,79%
<b>ABR</b>	31,60%	31,38%	44,29%
<b>MAY</b>	31,42%	31,34%	42,81%
<b>JUN</b>	32,19%	31,49%	41,90%
<b>JUL</b>	30,49%	30,68%	41,52%
<b>AGO</b>	30,83%	30,27%	47,05%
<b>SEP</b>	30,63%	30,19%	37,29%
<b>OCT</b>	28,68%	29,69%	44,58%
<b>NOV</b>	28,96%	30,05%	40,24%
<b>DIC</b>	30,68%	30,86%	45,39%

**Fuente:** El Postulante

En la Figura 3.8 se presenta la eficiencia de las turbinas en el año 2013 a partir de los datos de la Tabla 3.6. En las tendencias se puede notar claramente que la eficiencia de las turbinas tanto TR-1170A y TR-1170B es mucho menor comparada con respecto a la turbina TR-2170B. La razón que explica este hecho se debe al tipo de combustible empleado ya que la turbina del SPF trabaja utilizando el gas natural la mayor parte de su operación en cambio las turbinas del NPF emplean diésel.

**Figura 3.8 Promedio Eficiencia de las Turbinas, año 2013**

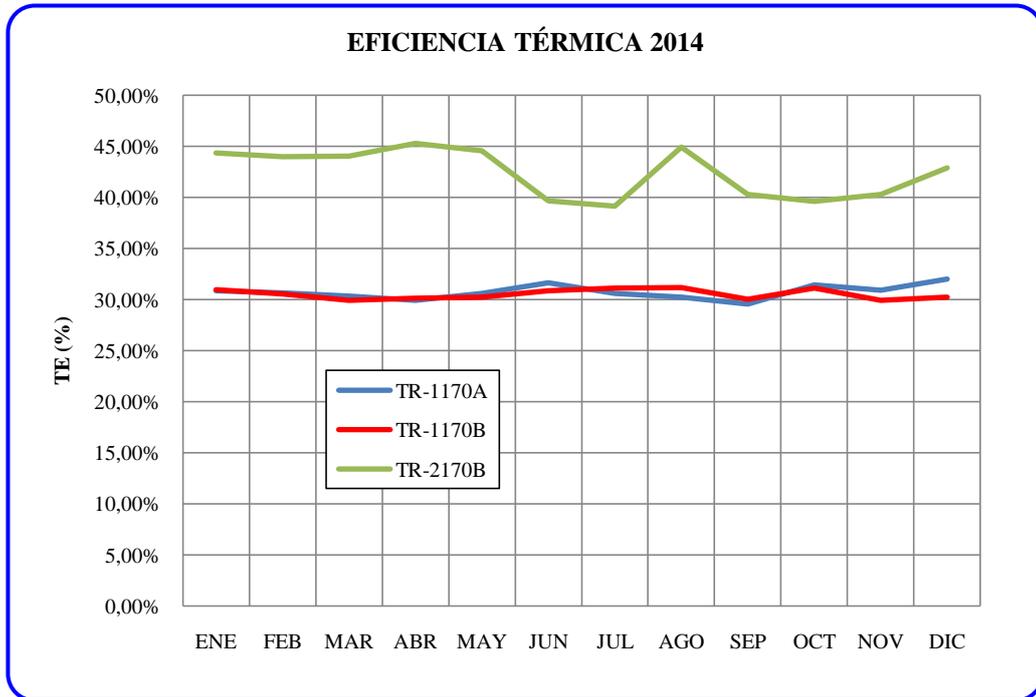


**Fuente:** El Postulante

En el Anexo 1, 2, 3 y 4 se muestran el cálculo y los datos obtenidos de la eficiencia térmica de las turbinas LM2500. Este cálculo se lo ha analizado desde el mes de Enero hasta Diciembre con una frecuencia semanal.

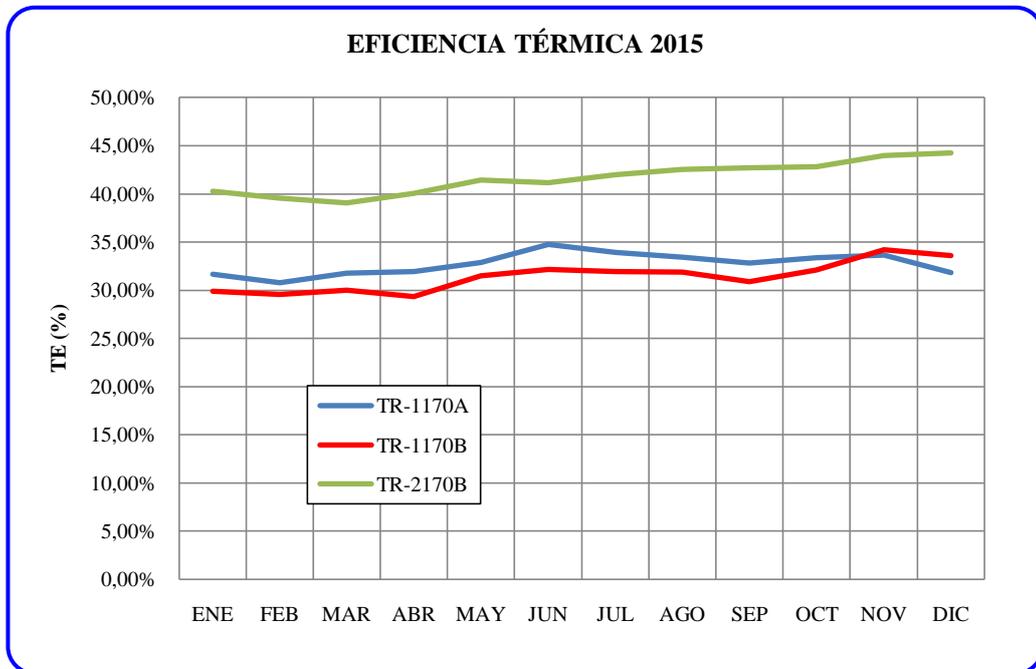
En las Figuras 3.9 y 3.10 se presenta los promedios de eficiencia de las turbinas en los años 2014 y 2015 respectivamente. En cada una de las figuras en mención se puede observar que se mantiene superior la eficiencia de la turbina TR-2170B la misma que trabaja con combustible gas.

**Figura 3.9 Promedio Eficiencia de las Turbinas, año 2014**



**Fuente:** El Postulante

**Figura 3.10 Promedio Eficiencia de las Turbinas, año 2015**



**Fuente:** El Postulante

Analizando las Figuras 3.8, 3.9 y 3.10 se puede determinar que existe un incremento de eficiencia en las turbinas del NPF TR-1170A y TR-1170B ya que en el 2013 y 2014 se tienen un promedio del 31% mientras que en el 2015 esta eficiencia es del 34%.

La eficiencia de la turbina TR-1170A se incrementa a partir del mes de octubre de 2014. Revisando el historial de mantenimiento de esta unidad se encuentra que el 19 de Octubre de 2014 se cambia de GG (compresor, cámara de combustión y turbina de alta presión HPT) y LPT (turbina de baja presión) ya que para esas fechas contaban con 53.335 y 39.578 horas respectivamente y según GE fabricante de las turbinas LM2500 establece que se deben cambiar a las 50.000 horas de trabajo.

De igual manera el 29 de Noviembre de 2015 en la TR-1170B se hace el cambio de GG (compresor, cámara de combustión y turbina de alta presión) y LPT (turbina de baja presión) las mismas que contaban con 52.819 horas de operación cada una.

La turbina del SPF TR-2170B se mantiene estable en 44% hasta el Junio de 2104 en donde cae la eficiencia al 40%. En Agosto de 2015 se vuelve a incrementar la eficiencia llegando al 44%, esto ya que el 10 de Agosto de 2015 se realiza el cambio de cámara de combustión y LPT ya que contaban con 26.642 y 56.235 horas de funcionamiento respectivamente. El fabricante recomienda cambiar la cámara de combustión a las 25.000 horas de trabajo.

Se puede observar que en la TR-2170B existen unos valores que caen de la tendencia normal sobre el 44%. Algunas explicaciones a este hecho se pueden plantear:

- Degradación de los filtros de aire (falta de mantenimiento).
- El comportamiento del gas como combustible no es uniforme en su poder calorífico.
- Debido a las condiciones de la producción de crudo y por ende del gas natural es inferior a los meses anteriores lo que obliga a trabajar con una menor potencia en la turbina.

Un factor importante a tomar en cuenta es el mantenimiento que se realiza en las turbinas. Luego de que se realiza un mantenimiento la eficiencia aumenta debido a las tareas que se realiza entre las más comunes están:

- Cambio de filtros de aire.
- Limpieza del recinto de ingreso de aire a la turbina.
- Limpieza de strainers y filtros del sistema de combustible.
- Revisión y calibración de la instrumentación.
- Lavado del compresor de aire.

En el Anexo 5 y 6 se muestran las actividades importantes de mantenimiento en las turbinas que se realizaron desde el año 2013, las mismas que contribuyen a mejorar la eficiencia.

### 3.3 Relación entre consumo de combustible y energía generada

En las Tablas 3.7, 3.8 y 3.9 se analizan el consumo de combustible y la energía que generan cada turbina promedio al día en cada mes de los años 2013, 2014 y 2015 respectivamente. Estos datos sirven para definir la eficiencia de las turbinas, además permiten comparar entre cada turbina a fin de determinar que turbina trabaja con menos eficiencia.

**Tabla 3.7 Consumo de combustible y energía generada por turbina, 2013**

	TR-1170A		TR-1170B		TR-2170B	
	CONSUMO DIÉSEL [BBLS]	ENERGÍA [KWH]	CONSUMO DIÉSEL [BBLS]	ENERGÍA [KWH]	CONSUMO GAS [SCFD]	ENERGÍA [KWH]
<b>Enero</b>	667,25	14.216	700,84	14.748	3.208.968	14.285
<b>Febrero</b>	687,06	14.952	726,91	15.504	2.790.857	12.253
<b>Marzo</b>	677,72	14.792	719,42	15.358	3.567.323	16.181
<b>Abril</b>	698,72	15.295	713,47	15.365	3.287.600	14.511
<b>Mayo</b>	711,47	15.542	729,52	15.731	3.781.903	16.789
<b>Junio</b>	726,23	15.930	745,60	16.090	3.712.000	16.607

<b>Julio</b>	673,17	14.671	696,59	14.874	3.350.935	14.602
<b>Agosto</b>	724,11	15.547	729,72	15.344	3.652.194	15.767
<b>Septiembre</b>	715,54	15.285	710,04	14.835	3.490.033	14.869
<b>Octubre</b>	750,57	15.324	725,98	15.111	3.736.935	16.159
<b>Noviembre</b>	783,22	15.780	734,84	15.340	3.626.633	14.754
<b>Diciembre</b>	683,41	14.294	718,22	15.256	3.485.065	15.110

**Fuente:** El Postulante

**Tabla 3.8 Consumo de combustible y energía generada por turbina, 2014**

	<b>TR-1170A</b>		<b>TR-1170B</b>		<b>TR-2170B</b>	
	<b>CONSUMO DIÉSEL [BBLS]</b>	<b>ENERGÍA [KWH]</b>	<b>CONSUMO DIÉSEL [BBLS]</b>	<b>ENERGÍA [KWH]</b>	<b>CONSUMO GAS [SCFD]</b>	<b>ENERGÍA [KWH]</b>
<b>Enero</b>	719,56	15.397	724,71	15.484	3.806.452	16.432
<b>Febrero</b>	736,39	15.702	743,16	15.739	3.881.714	16.504
<b>Marzo</b>	722,39	15.281	709,58	14.758	3.815.419	16.488
<b>Abril</b>	735,36	15.210	691,84	14.310	3.898.700	16.814
<b>Mayo</b>	680,90	14.560	723,72	15.194	3.800.516	15.972
<b>Junio</b>	717,16	15.195	767,08	16.525	3.855.200	15.939
<b>Julio</b>	708,88	15.000	742,59	15.934	3.786.290	15.693
<b>Agosto</b>	703,60	14.734	738,10	15.726	4.346.000	18.101
<b>Septiembre</b>	685,85	14.135	714,17	15.045	4.166.967	17.198
<b>Octubre</b>	603,77	12.895	701,21	14.666	3.444.484	13.843
<b>Noviembre</b>	728,63	16.170	709,40	14.790	4.116.367	16.121
<b>Diciembre</b>	705,45	15.523	701,46	14.477	4.092.548	16.403

**Fuente:** El Postulante

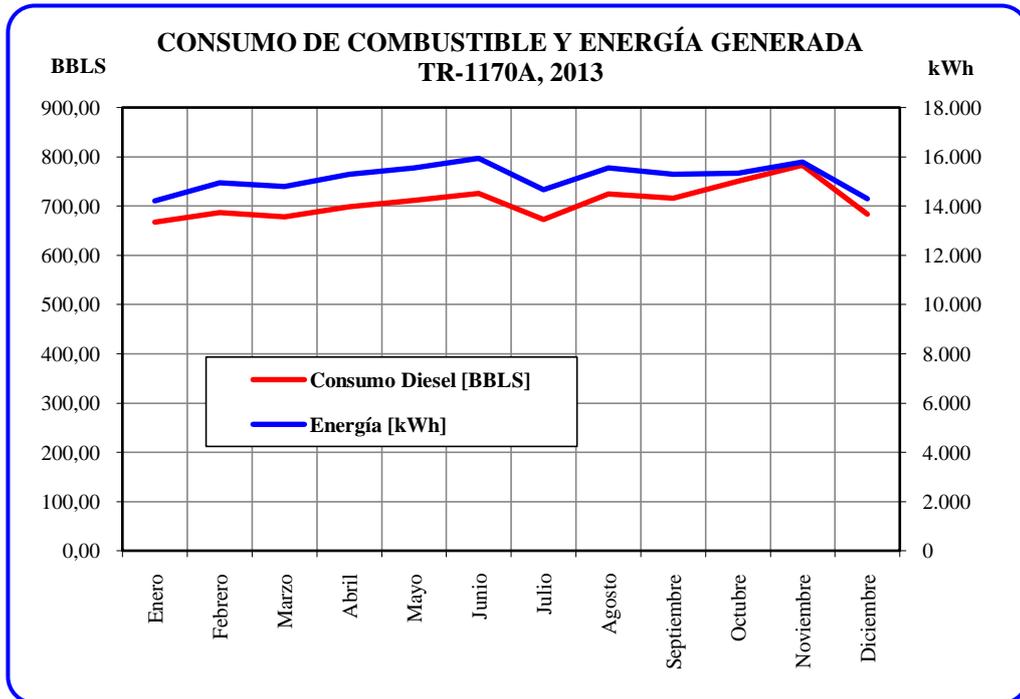
**Tabla 3.9 Consumo de combustible y energía generada por turbina, 2015**

	TR-1170A		TR-1170B		TR-2170B	
	CONSUMO DIÉSEL [BBLS]	ENERGÍA [KWH]	CONSUMO DIÉSEL [BBLS]	ENERGÍA [KWH]	CONSUMO GAS [SCFD]	ENERGÍA [KWH]
<b>Enero</b>	722,37	15.958	701,88	14.690	4.028.065	15.804
<b>Febrero</b>	754,59	16.600	740,12	15.583	3.780.607	14.957
<b>Marzo</b>	725,19	15.703	727,88	14.886	4.377.452	16.440
<b>Abril</b>	752,89	16.486	731,02	15.139	4.036.142	14.806
<b>Mayo</b>	684,64	14.782	703,21	14.448	3.515.774	13.007
<b>Junio</b>	740,80	16.307	754,59	15.765	4.361.000	16.140
<b>Julio</b>	718,19	15.589	732,46	14.973	4.082.290	14.737
<b>Agosto</b>	755,80	16.539	773,95	16.095	3.243.774	11.848
<b>Septiembre</b>	717,14	15.565	741,52	15.157	4.256.133	15.443
<b>Octubre</b>	749,07	16.374	760,39	15.657	4.143.710	15.274
<b>Noviembre</b>	760,40	16.674	683,02	14.232	3.545.677	13.376
<b>Diciembre</b>	757,29	16.511	801,98	17.527	3.918.500	14.399

**Fuente:** El Postulante

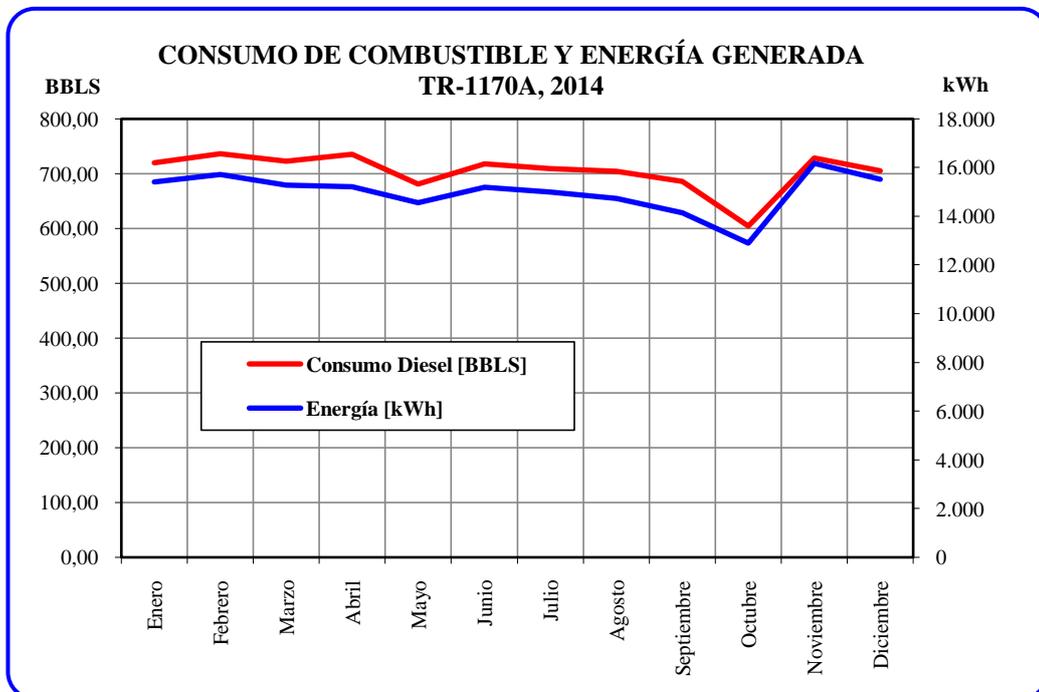
En las Figuras 3.11, 3.12 y 3.13 se observa la relación entre el consumo de diésel y la energía generada por la turbina TR-1170A durante los años 2013, 2014 y 2015 respectivamente. En estas figuras se aprecia lo antes mencionado, a partir de octubre de 2014 la eficiencia de la turbina se incrementa debido a que para un mismo consumo de combustible se genera más, lo que concuerda con los trabajos realizados en esas fechas de cambio de GG (compresor, cámara de combustión y turbina de alta presión) y LPT (turbina de baja presión).

**Figura 3.11 Consumo de Diésel y Energía Generada TR-1170A 2013**



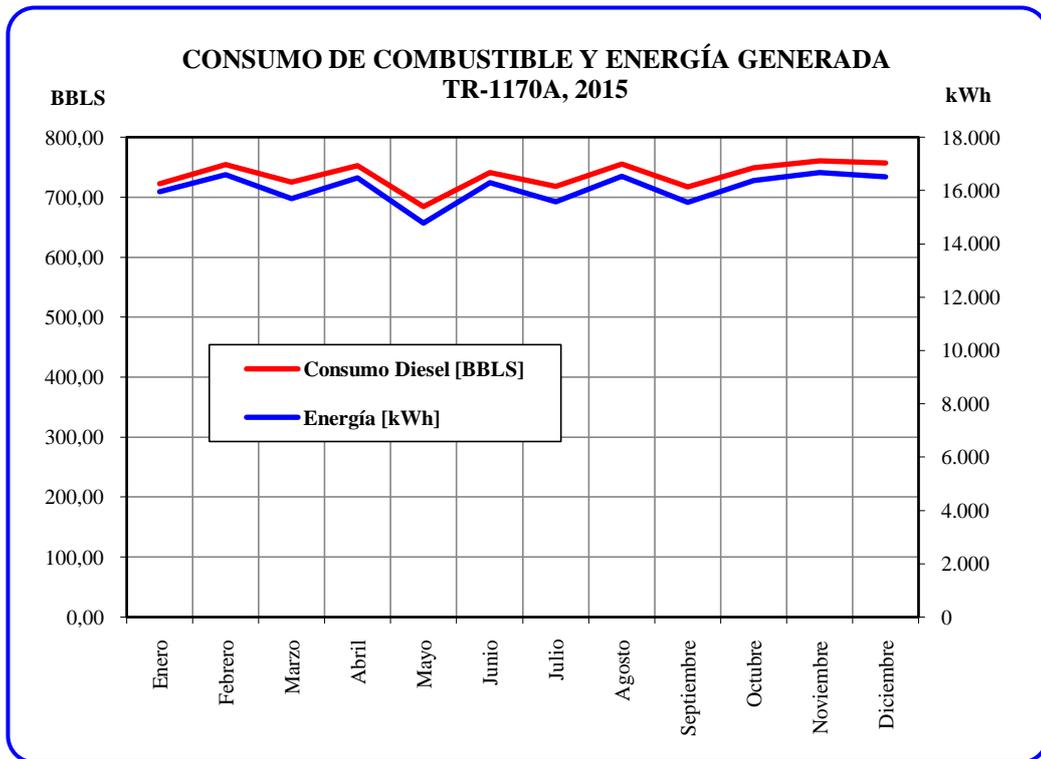
**Fuente:** El Postulante

**Figura 3.12 Consumo de Diésel y Energía Generada TR-1170A 2014**



**Fuente:** El Postulante

**Figura 3.13 Consumo de Diésel y Energía Generada TR-1170A 2015**

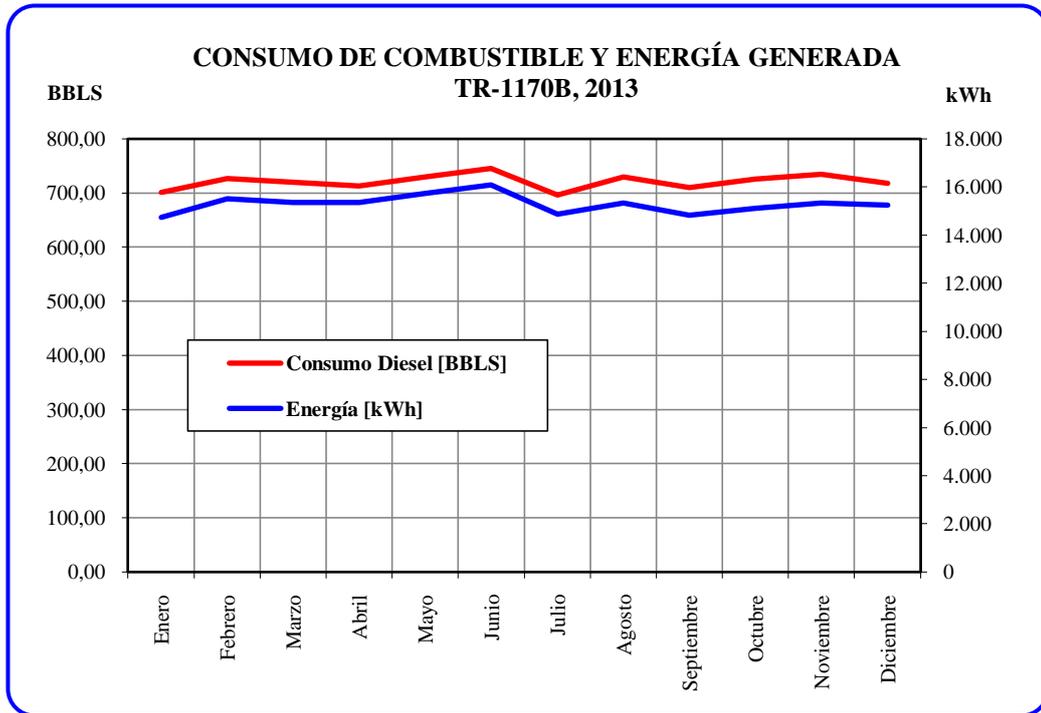


**Fuente:** El Postulante

En las Figuras 3.14, 3.15 y 3.16 se observa la relación entre el consumo de diésel y la energía generada por la turbina TR-1170B durante los años 2013, 2014 y 2015 respectivamente. En las curvas se aprecia que la turbina trabaja con una eficiencia promedio y que a partir de noviembre de 2015 esta se incrementa, la explicación a este hecho son los trabajos realizados en esas fechas de cambio de GG (compresor, cámara de combustión y turbina de alta presión) y LPT (turbina de baja presión).

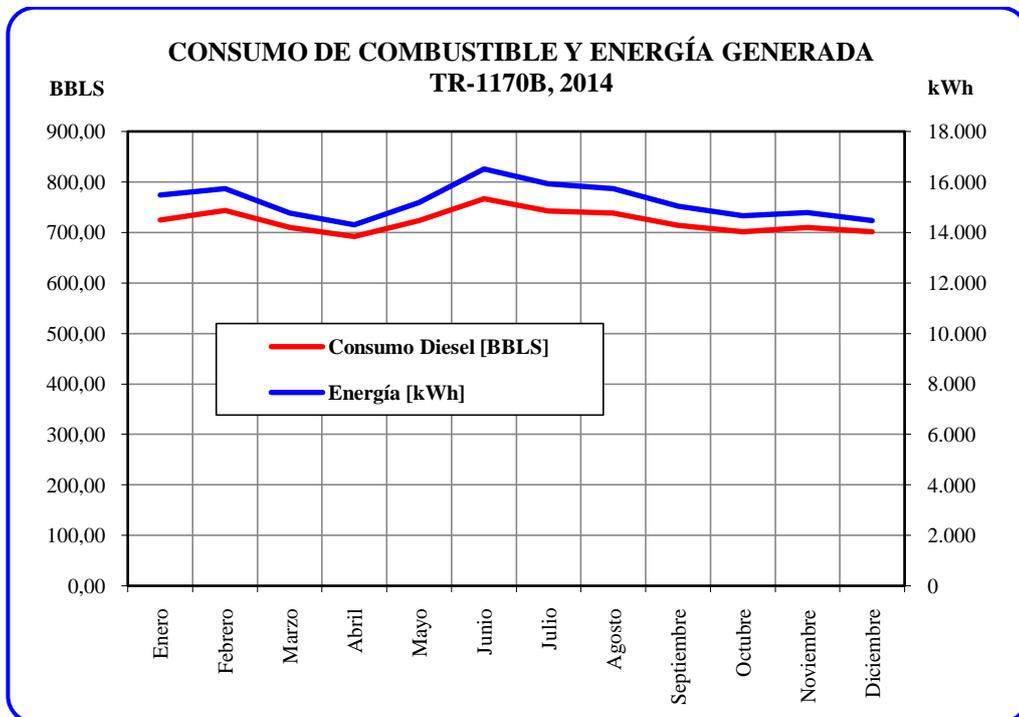
De esto se puede decir que una vez que en las turbinas se realizan trabajos de cambios de sus partes internas incrementa significativamente su eficiencia por lo que es importante cumplir con los cambios requeridos por el fabricante a fin de cuidar la vida útil de las turbinas y no perder eficiencia con el paso de los años de trabajo.

**Figura 3.14 Consumo de Diésel y Energía Generada TR-1170B 2013**



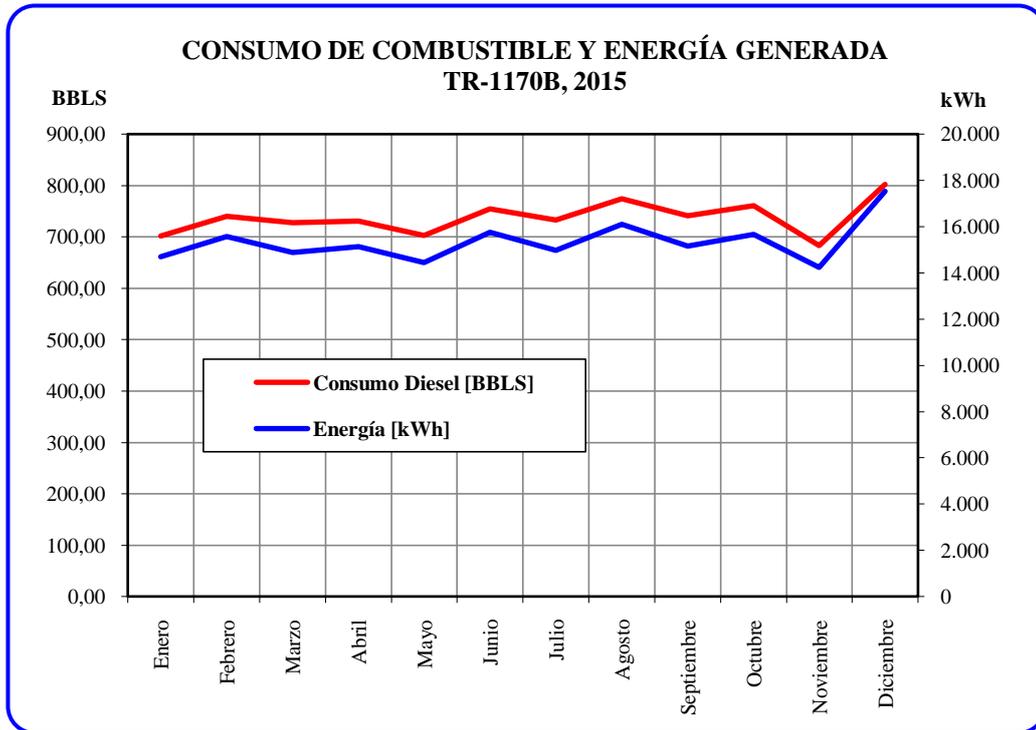
**Fuente:** El Postulante

**Figura 3.15 Consumo de Diésel y Energía Generada TR-1170B 2014**



**Fuente:** El Postulante

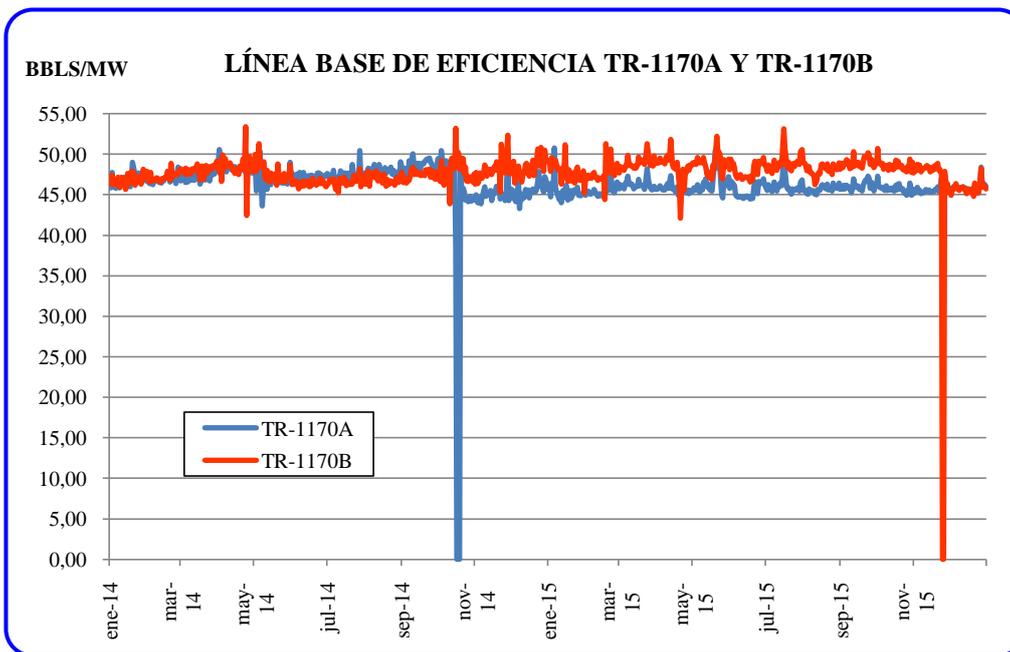
**Figura 3.16 Consumo de Diésel y Energía Generada TR-1170B 2015**



**Fuente:** El Postulante

En la Figura 3.17 se presenta la línea base de eficiencia para las turbinas TR-1170A y TR-1170B. Esta línea base es la relación existente entre el consumo de diésel y la energía generada por las turbinas durante los años 2014 y 2015. Como se puede apreciar el índice oscila entre 45 y 48 BBLs/MW, en donde cuando este índice es menor corresponde a los períodos de mayor eficiencia que presentan las máquinas. De esta manera se puede observar lo antes expuesto, es así que para la TR-1170A este valor es menor justamente cuando se realizan los trabajos de mantenimiento de cambio de GG en octubre de 2014 y se conserva en ese valor con una leve tendencia ascendente lo que implica pérdida de eficiencia. En la TR-1170B se aprecia que el índice es alto hasta noviembre 2015 donde se alcanza la máxima eficiencia esto por el cambio de GG.

**Figura 3.17 Línea Base de Eficiencia TR-1170A y TR-1170B**

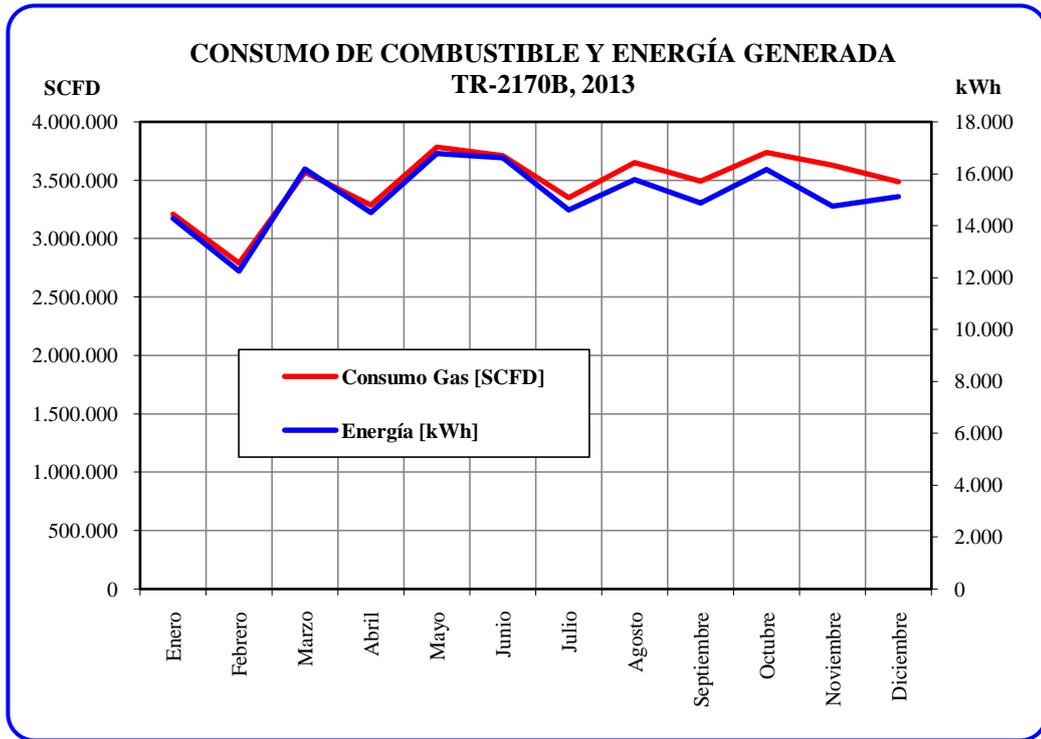


**Fuente:** El Postulante

Finalmente en las Figuras 3.18, 3.19 y 3.20 se observa la relación entre el consumo de gas y la energía generada por la turbina TR-2170B durante los años 2013, 2014 y 2015 respectivamente. Se aprecia que esta turbina trabaja con una eficiencia promedio durante más tiempo comparado con las dos turbinas a diésel. Existen cortos períodos en donde baja la eficiencia pero tiende a subir en corto tiempo. Los trabajos de cambio de cámara de combustión y LPT el Agosto de 2015 ayudan a conservar la alta eficiencia de esta unidad.

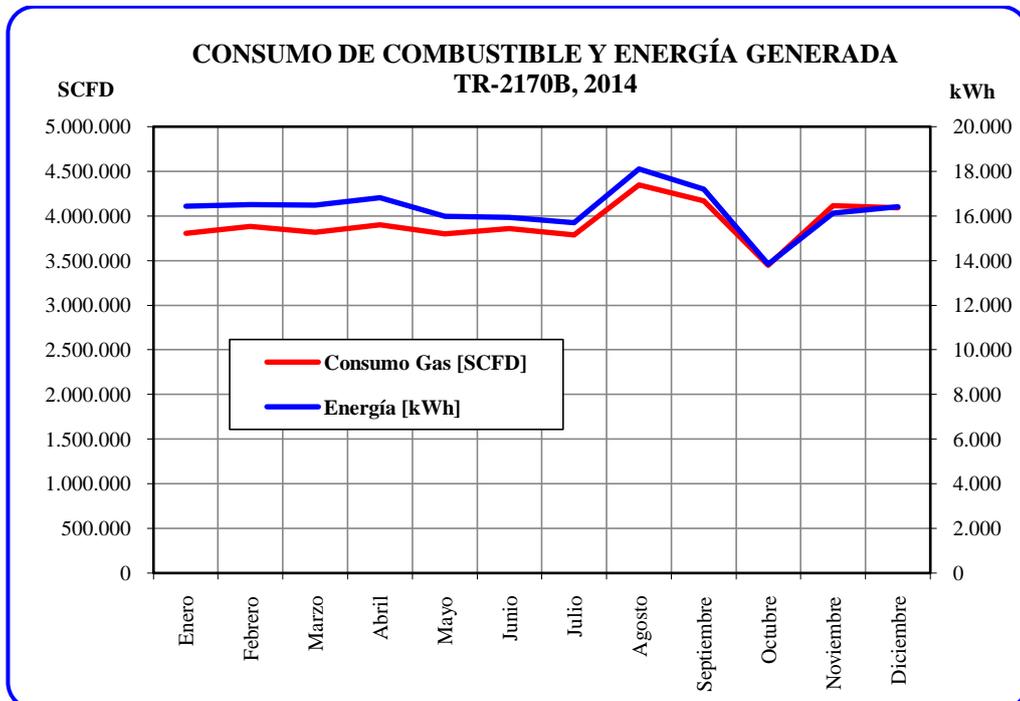
Cuando existe un cambio de partes internas de las turbinas la eficiencia se incrementa, es aquí donde radica la importancia de conservar un plan adecuado de cambio de partes.

**Figura 3.18 Consumo de Gas y Energía Generada TR-2170B 2013**



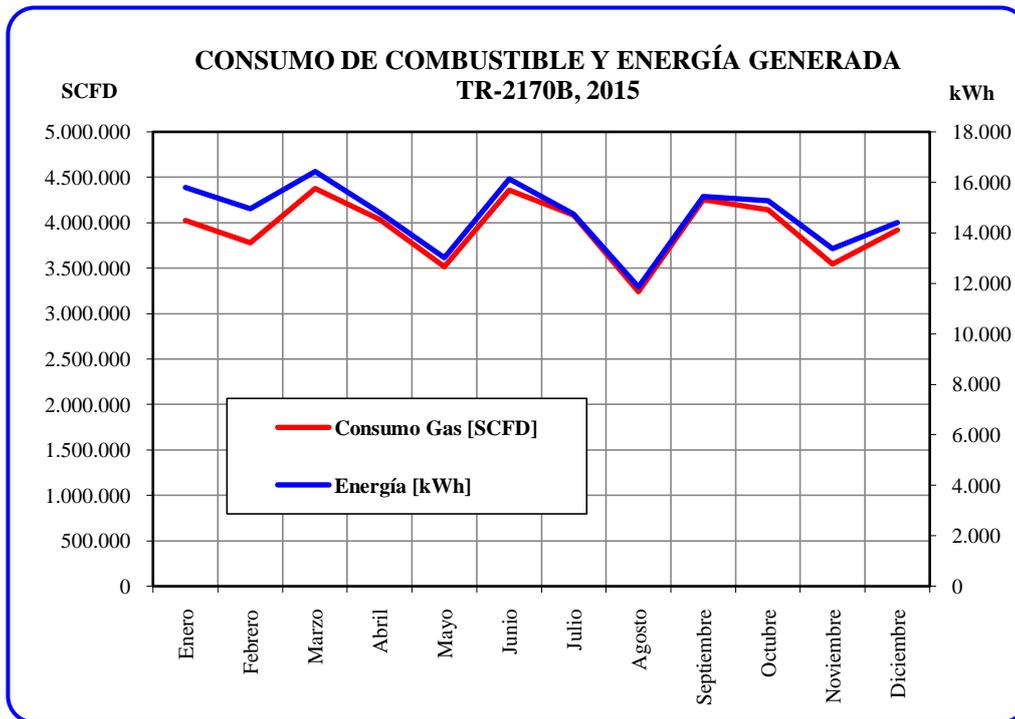
Fuente: El Postulante

**Figura 3.19 Consumo de Gas y Energía Generada TR-2170B 2014**



Fuente: El Postulante

**Figura 3.20 Consumo de Gas y Energía Generada TR-2170B 2015**



**Fuente:** El Postulante

### 3.4 Análisis del desempeño de las turbinas

Existen varios factores que determinan la eficiencia de una turbina de gas. Las más importantes son las características físicas del compresor y de la turbina. Además de las características del compresor y de la turbina, los mayores factores que afectan a la eficiencia de una máquina son la temperatura, la presión del ambiente, y las pérdidas en los componentes. Poco o casi nada se puede hacer acerca de las características de las turbinas o sobre el clima. Sin embargo la importancia del mantenimiento preventivo no puede subestimarse. Para lograr la mejor eficiencia térmica la energía debe ser suministrada tan alta como se pueda y extraída a una temperatura tan baja como se pueda.

El tema del desempeño térmico en turbinas de gas ha cobrado cada vez más relevancia debido al creciente aumento en los precios de los combustibles. Por lo tanto es importante el entender los factores que influyen en la potencia y el régimen térmico de las turbinas de gas.

En el Capítulo I se determinaron las causas por las cuales una turbina puede variar su rendimiento. De acuerdo a ello se analizan las condiciones en las cuales están trabajando actualmente las turbinas LM2500 de Repsol.

La turbina de gas opera bajo los principios del ciclo termodinámico de Brayton. Debido a esto, los siguientes factores influyen de manera directa en el desempeño térmico de una turbina de gas:

- Temperatura de entrada al compresor.
- Presión atmosférica.
- Humedad relativa.
- Caída de presión en los filtros.
- Caída de presión a la salida.
- Las pérdidas mecánicas.
- Las variaciones del calor específico en relación con la temperatura.
- La variación en la masa de combustible.
- El poder calórico del combustible.
- La presión de salida de los gases al ambiente.
- La temperatura de salida de los gases.

#### **3.4.1 Temperatura del aire de aspiración**

Repsol realiza sus operaciones en el Bloque 16 ubicado en la provincia de Orellana. El clima en esta zona es cálido con altas temperaturas y gran porcentaje de humedad. Razón por la cual la temperatura del aire de ingreso a la turbina es una de las grandes limitantes en su rendimiento.

Para determinar el comportamiento de las turbinas se han tomado datos de la temperatura de ingreso de aire al compresor (CIT, TE-1815) y la potencia eléctrica generada (MW) cada 4 horas durante el año 2013.

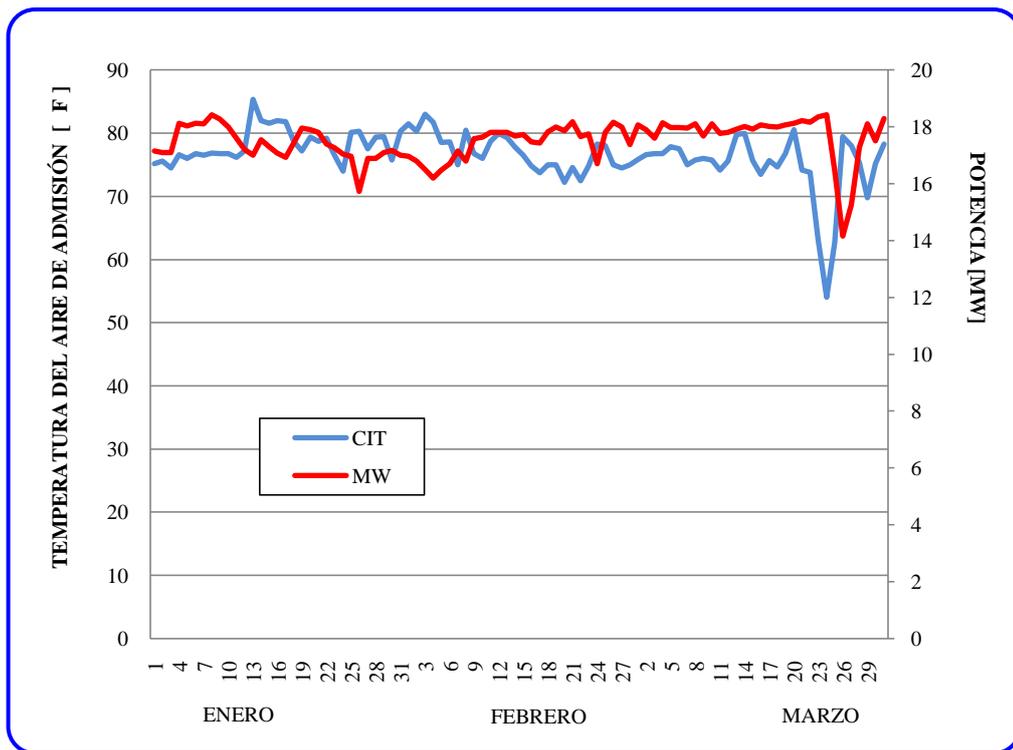
Es importante recalcar que las 2 turbinas del NPF (TR-1170A y TR-1170B) trabajan con combustible diésel y que por la configuración eléctrica de Repsol operan en el modo conocido como Isoch - Load, lo que quiere decir que trabajan todo el tiempo con una velocidad constante para cualquier variación de carga y son las que asumen las variaciones de carga en el Bloque razón por la cual es

difícil hacer un análisis exacto de su comportamiento ya que no mantienen una potencia constante sino que varía de acuerdo a la demanda puntual del sistema.

En cambio la turbina del SPF (TR-2170B) trabaja la mayor parte del tiempo con combustible gas, en ocasiones especiales trabaja con combustible diésel, opera en el modo Droop-Unload, y su potencia generada es relativamente fija por lo que no tiene grandes variaciones de carga.

Además para analizar la potencia generada influyen las condiciones de operación del Bloque (tipo de combustible, presión de combustible y temperatura ambiental) por lo que no se tiene una curva de carga constante, pero para el presente análisis es suficiente y permite apreciar el efecto de la temperatura sobre el rendimiento de la turbina.

**Figura 3.21 Temperatura aire de admisión vs. Potencia TR-2170B, 2013**



**Fuente:** El Postulante

En la Figura 3.21 se presenta la relación que existe entre la temperatura de ingreso a la turbina CIT y la potencia generada durante los meses de enero a marzo del 2013. Se puede apreciar que el comportamiento de la potencia generada con la TR-2170B es inversamente proporcional a la temperatura del aire de admisión con una variación de 1MW.

Es importante señalar que la recolección de estos datos se la ha realizado únicamente con la variación de temperatura ambiente sin aplicar ningún método de enfriamiento del aire de ingreso a la turbina ya que al momento no se dispone de ello.

### **3.4.2 Altitud y presión atmosférica**

Mayor altitud implica una menor presión atmosférica, por lo que disminuye la densidad del aire. Por el mismo principio que en el caso anterior, debido a que el compresor es una máquina volumétrica, un aumento de la altura implica una disminución de la potencia.

Son aspectos que no se los han podido cuantificar ya que no se pueden hacer pruebas a distintas altitudes y presiones atmosféricas en la zona de operación de Repsol.

### **3.4.3 Caída de Presión en los filtros, envejecimiento y ensuciamiento**

De acuerdo a las pruebas experimentales se ha podido establecer que una vez que se realiza un mantenimiento de las turbinas (cambio de filtros de aire, limpieza de la zona de ingreso de aire a la turbina, cambio de filtros de combustible y lavado off line) su rendimiento se incrementa recuperando 1MW de la potencia generada. Con el pasar de los días el rendimiento de las turbinas tiende a caer debido al ensuciamiento de los filtros y área de ingreso de aire.

El cambio de los filtros de aire se lo realiza en cada mantenimiento trimestral, pero no es exacta esta frecuencia de parada de las turbinas ya que depende de factores externos como disponibilidad de personal de mantenimiento, disponibilidad de repuestos y sobre todo a las condiciones operativas por parte del área de producción. Mientras más se extiende el tiempo de utilización de los filtros de aire la potencia generada disminuye significativamente.

El aire que ingresa es un aspecto importante en la eficiencia de las turbinas, la degradación de los filtros puede limitar el ingreso de aire, siendo este aire el que se emplea tanto para la combustión como para el enfriamiento de la turbina lo que implica mayor consumo de combustible.

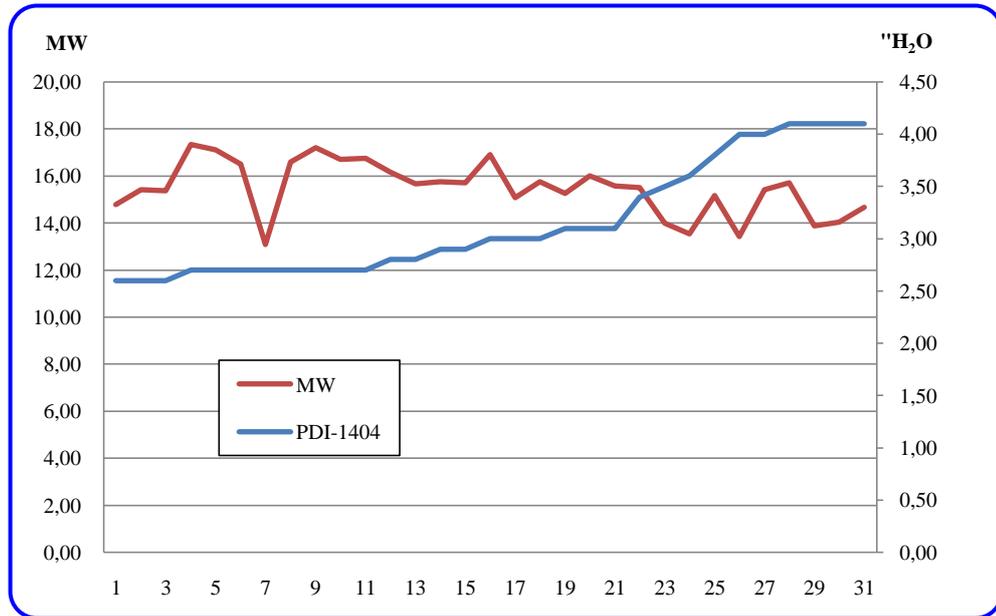
En las Figuras 3.22 y 3.23 se indica el comportamiento de los filtros de aire en el mes de diciembre de 2014 en las turbinas TR-1170A y TR-1170B en donde se lleva una operación de cuatro meses sin realizar el mantenimiento respectivo.

El medidor de presión diferencial PDI-1404 indica el comportamiento de los filtros de aire en donde mientras mayor sea su valor alto será el grado de ensuciamiento de los filtros. El switch de presión diferencial PDSH-1405 monitorea la caída de presión de los filtros de aire y activa una señal de alarma al Scada cuando alcanza 5 "H<sub>2</sub>O, mientras que el switch de presión diferencial PDSHH-1406 activa una señal de paro (shutdown) cuando alcanza 8" H<sub>2</sub>O.

Se puede apreciar que el comportamiento de la presión diferencial de los filtros de aire es ascendente (alta contaminación de polvo y de mariposas propias de la zona) mientras que el comportamiento de la potencia generada es descendente. Al cabo de los cuatro meses en estas condiciones en ambas turbinas el valor de la presión diferencial de los filtros de aire ha subido en 2" H<sub>2</sub>O mientras que la potencia ha disminuido en 2MW. En el Anexo 7 se muestra la tabla con los datos adquiridos.

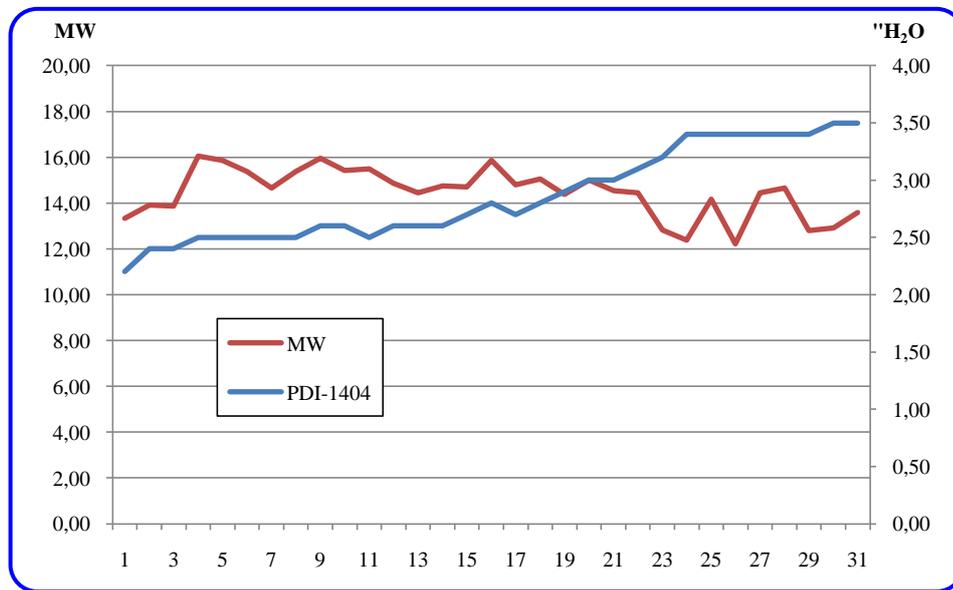
Adicional a los problemas con los filtros de aire al ingreso a la turbina otro de los factores que se ha detectado tiene influencia en su rendimiento es el deterioro del compartimiento del recinto de admisión, el mismo que presenta oxidación e inclusive tiene pequeños orificios permitiendo así de esta manera el ingreso de insectos, polvo y agua lluvia que al mezclarse producen una pasta que taponan los filtros de aire.

**Figura 3.22 Presión diferencial filtros de aire, Diciembre 2014 TR-1170A**



**Fuente:** El Postulante

**Figura 3.23 Presión diferencial filtros de aire, Diciembre 2014 TR-1170B**

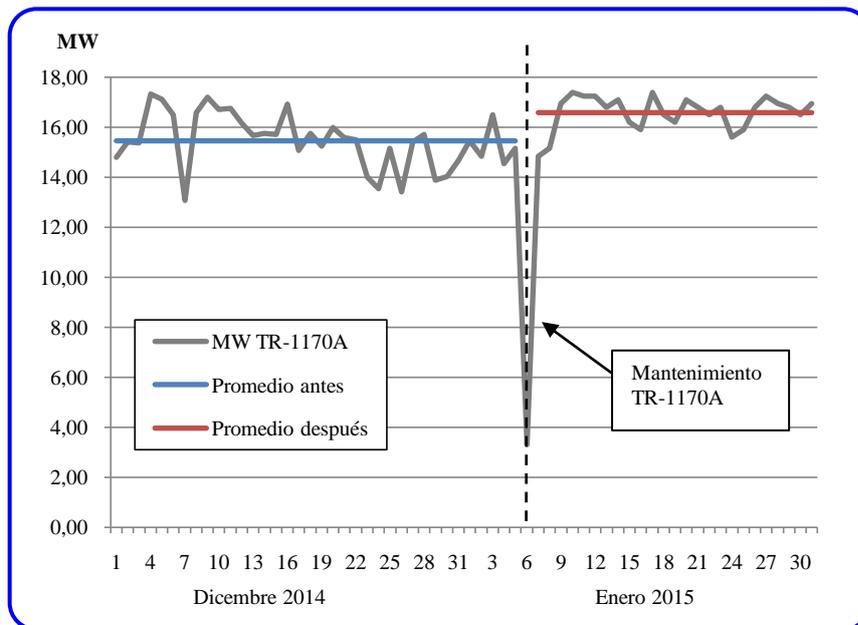


**Fuente:** El Postulante

En las Figuras 3.24 y 3.25 se analiza la potencia generada durante los meses de diciembre de 2014 y enero de 2015 por las turbinas TR-1170A y TR-1170B, este es el período en el cual se incrementa la presión diferencial de los filtros de aire

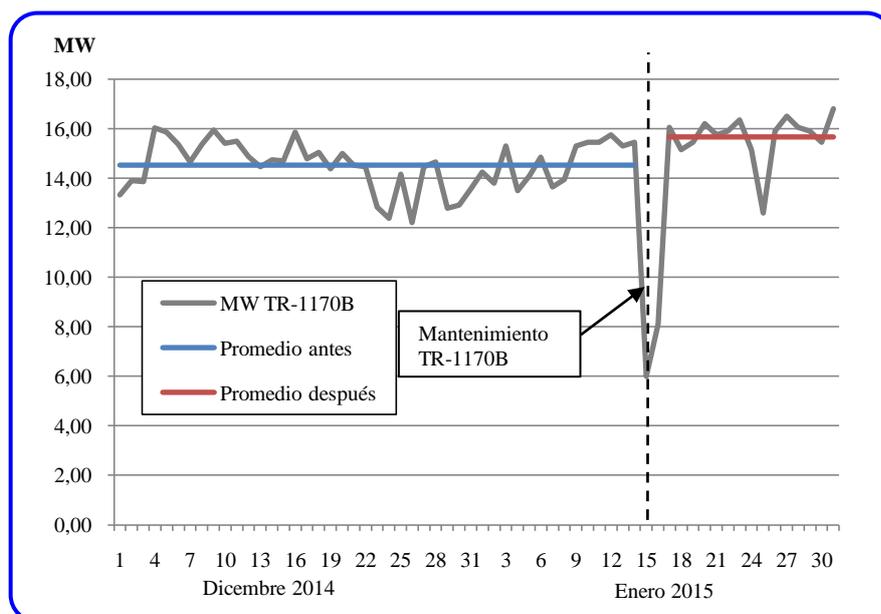
(mostrado en las Figuras 3.22 y 3.23) hasta la fecha en la cual se realiza el cambio de los filtros de aire en el mantenimiento respectivo. En el Anexo 8 constan los datos recolectados antes y después del mantenimiento.

**Figura 3.24 Generación antes y después del mantenimiento TR-1170A**



**Fuente:** El Postulante

**Figura 3.25 Generación antes y después del mantenimiento TR-1170B**



**Fuente:** El Postulante

Al analizar estas figuras se las puede dividir en dos partes. La primera en donde se observa que la potencia generada tiene una tendencia descendente llegando a generar alrededor de 15 MW cada una. A esto se le atribuye la falta de limpieza de los filtros de aire debido a los cuatro meses sin el respectivo mantenimiento preventivo. Mientras que la segunda parte corresponde a después del mantenimiento en donde se aprecia claramente como la potencia generada por cada turbina se incrementa en alrededor de 1 MW por el cambio de filtros de aire, limpieza del compartimiento de ingreso de aire y lavado off line del compresor de aire.

En las Figuras 3.26, 3.27, 3.28, 3.29, 3.30 y 3.31 se observan los elementos de los filtros de aire empleados para retener las impurezas en la aspiración del aire en las turbinas. Además también se identifican algunos de los diferentes problemas que presenta el área de ingreso de aire a las turbinas los mismos que contribuyen negativamente al correcto desempeño de las máquinas provocando la pérdida de su eficiencia normal de trabajo y que deben ser corregidos oportunamente.

**Figura 3.26 Recinto de ingreso de aire con oxidación**



**Fuente:** Turbina TR-1170A, Repsol 2015

**Figura 3.27 Oxidación en el piso del área de filtros de aire**



**Fuente:** Turbina TR-1170A, Repsol 2015

**Figura 3.28 Oxidación y corrosión en área de filtros de aire**



**Fuente:** Turbina TR-1170A, Repsol 2015

**Figura 3.29 Filtros de aire de barrera**



**Fuente:** Turbina TR-1170B, Repsol 2015

**Figura 3.30 Filtros de aire metálicos**



**Fuente:** Turbina TR-117A, Repsol 2015

**Figura 3.31 Ducto de ingreso de aire a la turbina**



**Fuente:** Turbina TR-2170B, Repsol 2015

#### **3.4.4 Inspecciones boroscópicas**

Los componentes varios de una turbina de gas requieren atención, comenzando desde las revisiones diarias de los niveles de aceite, hasta las reparaciones mayores (overhaul) o el reemplazo de la turbina.

Las inspecciones boroscópicas proveen un método de examinar las partes internas de la turbina sin desarmarla mayormente.

Las Figuras 3.32, 3.33 y 3.34 ilustran imágenes adquiridas desde el boroscopio de la inspección realizada en la turbina TR-1170B en 2014.

La inspección boroscópica al compresor de aire Figura 3.32 se la realiza por 4 pórticos de inspección, en donde no se evidencian daños o desgaste, los midspan se encuentran en buenas condiciones. De igual manera los álabes tanto de las primeras, intermedias y últimas etapas no presentan grietas, golpes o fisuras, se nota buena limpieza en todas sus etapas.

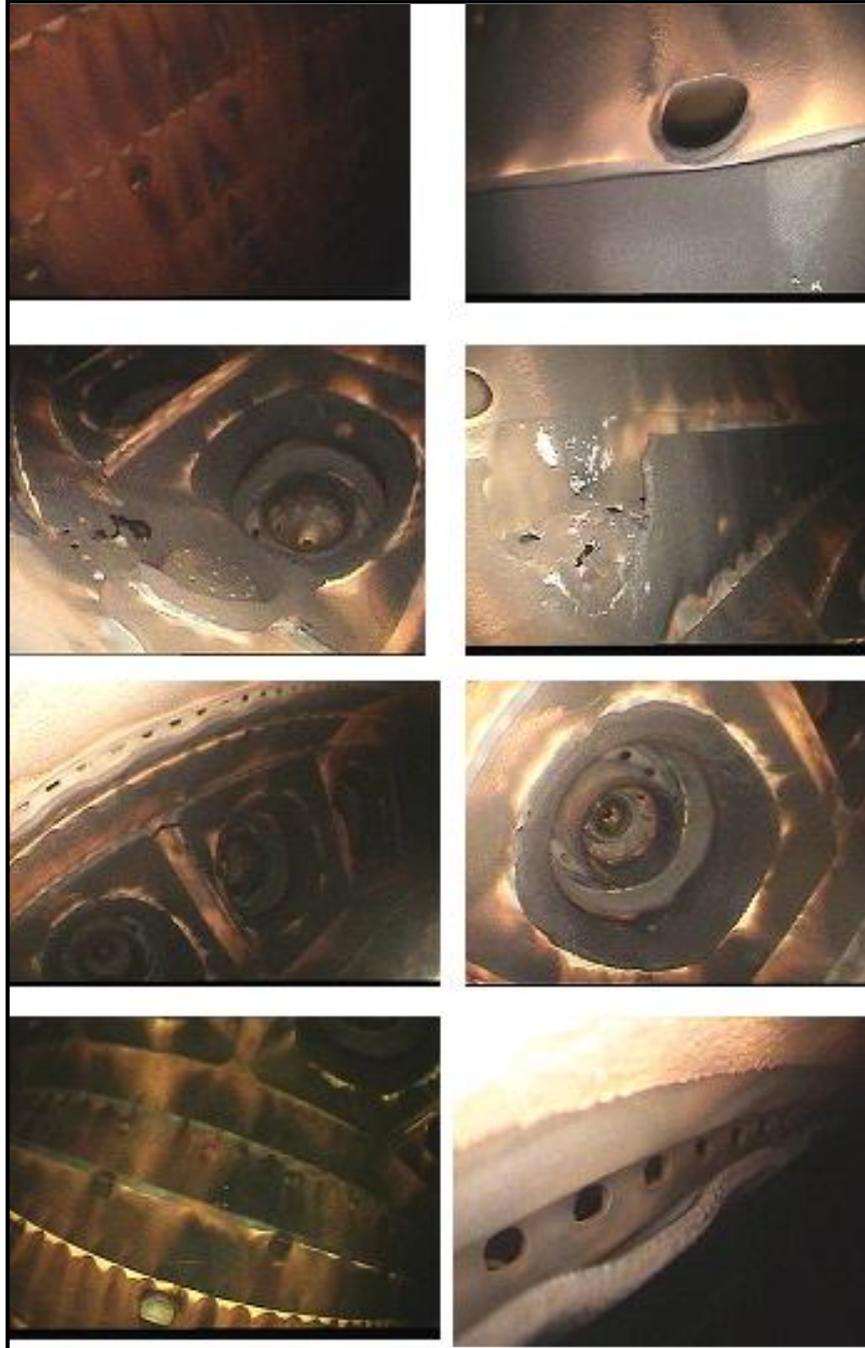
**Figura 3.32 Inspección compresor de aire TR-1170B**



**Fuente:** Reporte Boroscopia TR-1170B, Repsol 2014

En la cámara de combustión de la Figura 3.33 se aprecia una leve acumulación de carbón, en liners superior e inferior, boquillas y trumpets. No hay grandes rastros de carbón en las boquillas (combustible mejorado), sino en forma moderada y solo en algunos. En algunos trumpets de los inyectores se nota desgaste con pérdida de revestimiento primario en los bordes que no afecta. En el contorno de alojamiento de la bujía se nota desprendimiento de material.

**Figura 3.33 Inspección cámara de combustión TR-1170B**

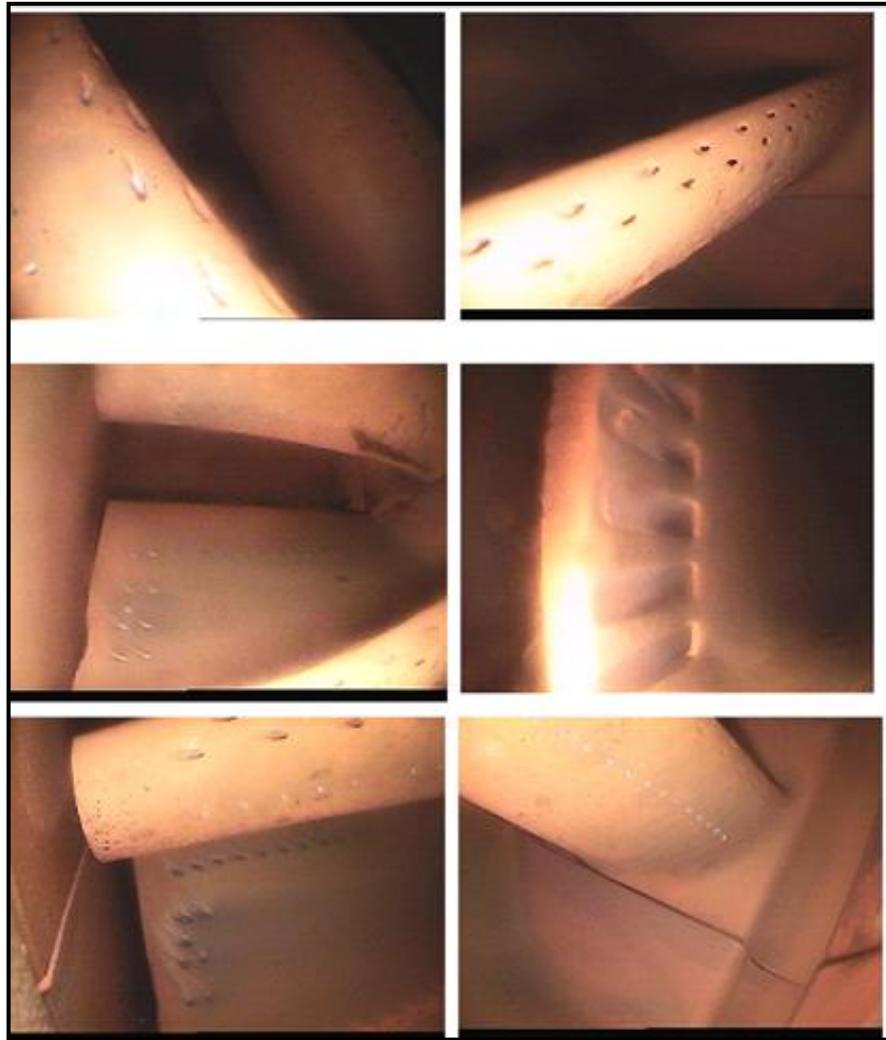


**Fuente:** Reporte Boroscopia TR-1170B, Repsol 2014

En los nozzles de la primera etapa de la HPT de la Figura 3.34 no se observan novedades (quemaduras). Los orificios de enfriamiento frontales de los álabes roticos de la primera etapa de la HPT se encuentran limpios, no se evidencian golpes, deformaciones o fisuras. Los álabes de la segunda etapa de la HPT están

en buenas condiciones tanto en su cara frontal y posterior, existe acumulación de depósitos en la cara posterior de los alabes y en los orificios

**Figura 3.34 Inspección Turbina HPT TR-1170B**



**Fuente:** Reporte Boroscopia TR-1170B, Repsol 2014

### **3.4.5 Problemas con la calidad del diésel**

Durante los últimos años de operación uno de los principales factores que han afectado al correcto desempeño de las turbinas es la calidad del diésel. La misma que cuando está fuera de especificaciones produce los problemas detectados en la inspección boroscópica de la cámara de combustión de la Figura 3.33 que inclusive puede llegar a provocar el taponamiento de los inyectores lo que a su

vez también sería una causa de una baja eficiencia ya que el combustible no podría ser distribuido uniformemente dentro de la cámara de combustión.

Para mantener estabilidad y operación normal de las fuentes de generación se debe cumplir con varios parámetros siendo uno de ellos la calidad del combustible de abastecimiento, para lo cual en la Figura 3.37 se describe la ruta de filtración y purificación hacia las turbinas TR-1170A y TR-1170B del NPF.

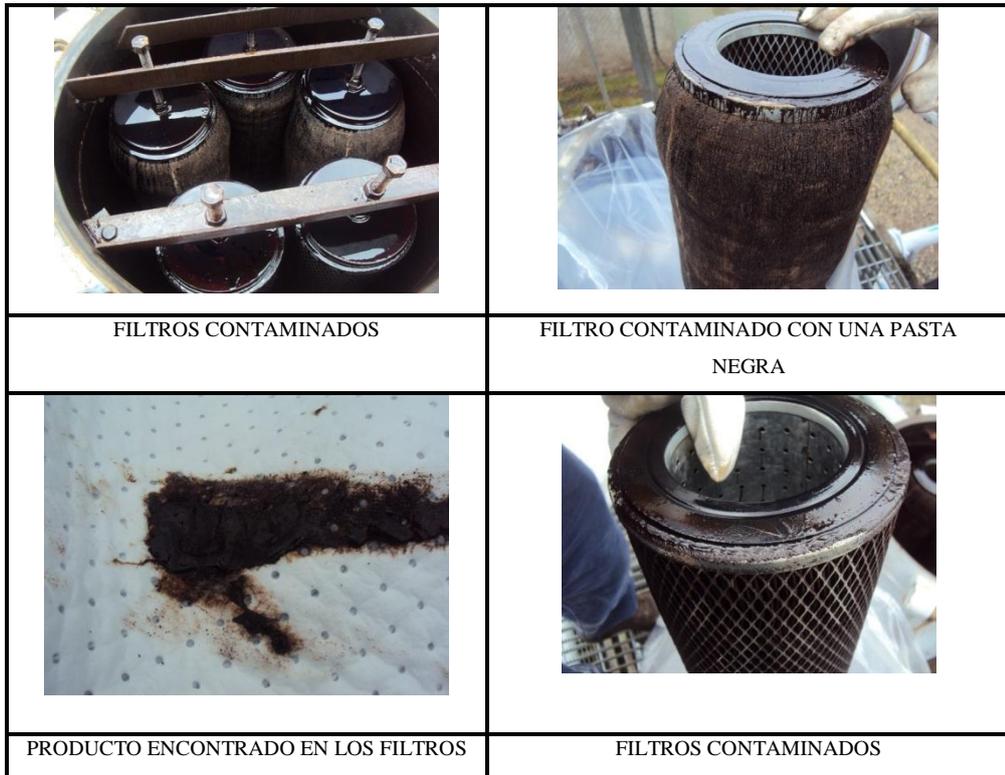
El combustible es producido por un sistema de destilación atmosférica llamada Planta Topping, este producto es enviado hacia los tanques de almacenamiento T-1080A/B que tienen una capacidad de 7900 BBLs cada uno. Una bomba succiona el diésel desde estos tanques para enviar al tanque diario T-1066A de 250 BBLs de capacidad, recipiente que da abastecimiento continuo a las turbinas; el diésel que llega a estas fuentes de generación pasa varias etapas de filtrado incluyendo una unidad de centrifugación lo cual permite garantizar una entrada de combustible más limpia a fin de minimizar perturbaciones en las turbinas.

Por la cantidad de sólidos y agua presente en el diésel se instala una centrifuga antes del tanque diario T-1066 la misma que se muestra en la Figura 3.36. La centrifuga se encarga de la separación de las partículas mediante fuerza de aceleración gravitacional que se logra gracias a una rotación rápida.

Todos los trabajos que se ha realizado en el sistema de combustible son a causa de la mala calidad de combustible. Se ha evidenciado la mala calidad de combustible, cuando se han cambiado los filtros de combustible F-1082A/B y F-1803 que quedan luego de los tanques de almacenamiento. En la Figura 3.35 se evidencia la contaminación de los filtros.

En las Tablas 3.10, 3.11 y 3.12 se presenta el consumo de filtros de diésel en los años 2013, 2014 y 2015.

**Figura 3.35 Filtros de diésel contaminados**



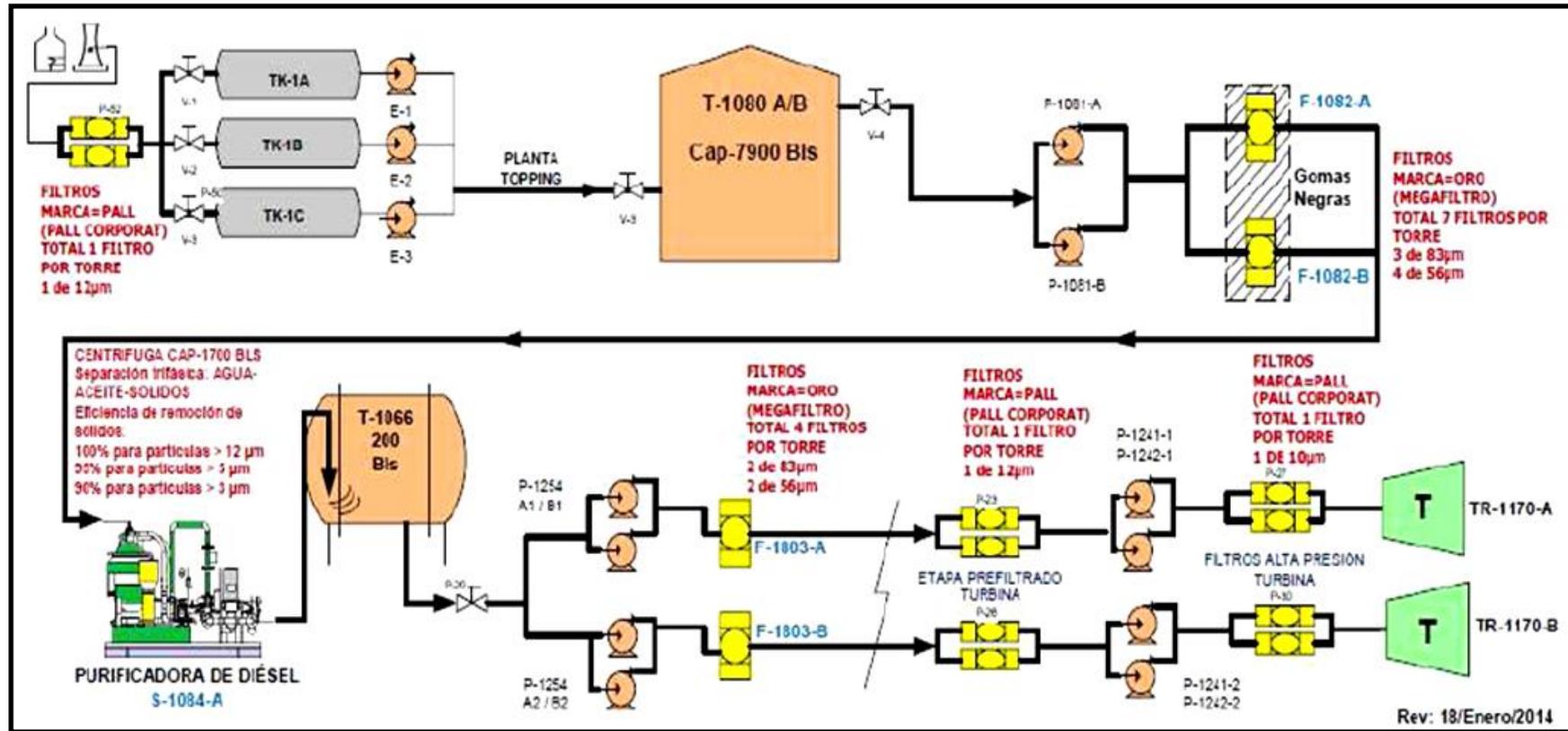
**Fuente:** Sistema de filtrado TR-1170A, Repsol 2015

**Figura 3.36 Purificadora de diésel**



**Fuente:** Centrífuga S-1084A, Repsol 2015

Figura 3.37 Abastecimiento de diésel hacia las turbinas en NPF



Fuente: SGI Repsol, Generación Eléctrica a Diésel con Turbinas LM2500 y Generadores Auxiliares PO-EN-07-B16

**Tabla 3.10 Consumo de filtros sistema de diésel NPF, 2013**

NÚMERO DE CAMBIOS DE FILTROS DE DIESEL, 2013														
DESCRIPCIÓN	NÚMERO DE PARTE	FABRICANTE	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
FILTROS DE DIÉSEL DEL SK1082	CD-1052L/CD-1047	IND. ORO	14	7	7	7	14	14	0	14	14	21	21	21
FILTROS DE LAS BOMBAS FORW.	CD-1039L/CD-1047	IND. ORO	16	8	16	8	8	16	8	8	8	16	16	24
PREFILTRO DE DIÉSEL	HC8300FKS39Z	PALL	5	6	4	1	5	2	3	2	1	3	2	4
FILTROS DE ALTA PRESIÓN	HC9600FKD13Z	PALL	2	0	2	0	3	0	0	2	0	2	0	0

Fuente: Reportes Mensuales, Repsol 2013

**Tabla 3.11 Consumo de filtros sistema de diésel NPF, 2014**

NÚMERO DE CAMBIOS DE FILTROS DE DIESEL, 2014														
DESCRIPCIÓN	NÚMERO DE PARTE	FABRICANTE	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
FILTROS DE DIÉSEL DEL SK1082	CD-1052L/CD-1047	IND. ORO	21	21	14	7	14	7	7	7	7	7	7	14
FILTROS DE LAS BOMBAS FORW.	CD-1039L/CD-1047	IND. ORO	24	24	16	8	16	8	8	8	8	8	8	16
PREFILTRO DE DIÉSEL	HC8300FKS39Z	PALL	5	6	4	1	5	2	3	2	1	3	2	4
FILTROS DE ALTA PRESIÓN	HC9600FKD13Z	PALL	2	0	2	0	3	0	0	2	0	2	0	0

Fuente: Reportes Mensuales, Repsol 2014

**Tabla 3.12 Consumo de filtros sistema de diésel NPF, 2015**

NÚMERO DE CAMBIOS DE FILTROS DE DIESEL, 2015														
DESCRIPCIÓN	NUMERO DE PARTE	FABRICANTE	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
FILTROS DE DIÉSEL DEL SK1082	CD-1052L/CD-1047	IND. ORO	7	14	28	21	0	14	14	14	0	21	7	7
FILTROS DE LAS BOMBAS FORW.	CD-1039L/CD-1047	IND. ORO	0	8	0	12	8	16	0	16	0	8	8	8
PREFILTRO DE DIÉSEL	HC8300FKS39Z	PALL	5	6	4	1	5	2	3	2	1	3	2	4
FILTROS DE ALTA PRESIÓN	HC9600FKD13Z	PALL	2	0	2	0	3	0	0	2	0	2	0	0

**Fuente:** Reportes Mensuales, Repsol 2015

Hasta antes de la instalación de la unidad de centrifugado del diésel además del alto consumo de filtros el mayor inconveniente que se presentaba era el deterioro de la válvula de control de combustible de la turbina por ensuciamiento de sus partes internas. Esta válvula regula el ingreso de combustible hacia la cámara de combustión y lo hace de manera proporcional a la potencia requerida. En condiciones normales de operación esta válvula es cambiada en un mantenimiento mayor es decir a las 25.000 horas de operación.

Del historial de cambio de válvulas se encuentra que en el año 2013 se cambió un total de 10 veces la válvula de combustible (FCV-1202) entre la turbina TR-1170A (3 veces) y la TR-1170B (7 veces). Para el año 2014 con la implementación de la purificadora del diésel se cambió un total de 3 veces la válvula de combustible (2 para la TR-1170A y 1 para la TR-1170B). Mientras que en el 2015 no se tuvo ningún cambio de válvulas de combustible.

Como medida preventiva en cada mantenimiento se revisa el vástago de la válvula de control de combustible, el mismo que generalmente se encuentra con impurezas y ligeramente atascado Figura 3.38.

**Figura 3.38 Vástago válvula de combustible**

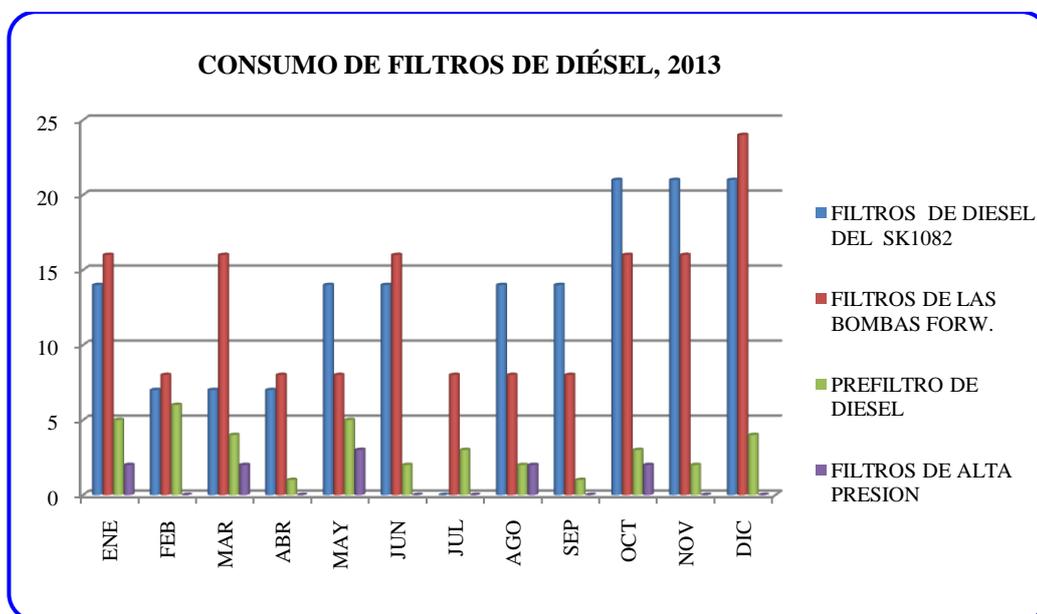


**Fuente:** Válvula de combustible TR-1170B, Repsol 2015

Como se puede observar en las Figuras 3.39, 3.40 y 3.41 el consumo de filtros de diésel es alto hasta el mes de mayo de 2014, esto debido a que a partir de esa fecha se toman acciones correctivas en la calidad del diésel, desde la etapa de producción en la Planta Topping, así como también se implementa un sistema de centrifugado en donde se reduce el uso de filtros de diésel llegando a cambiarse

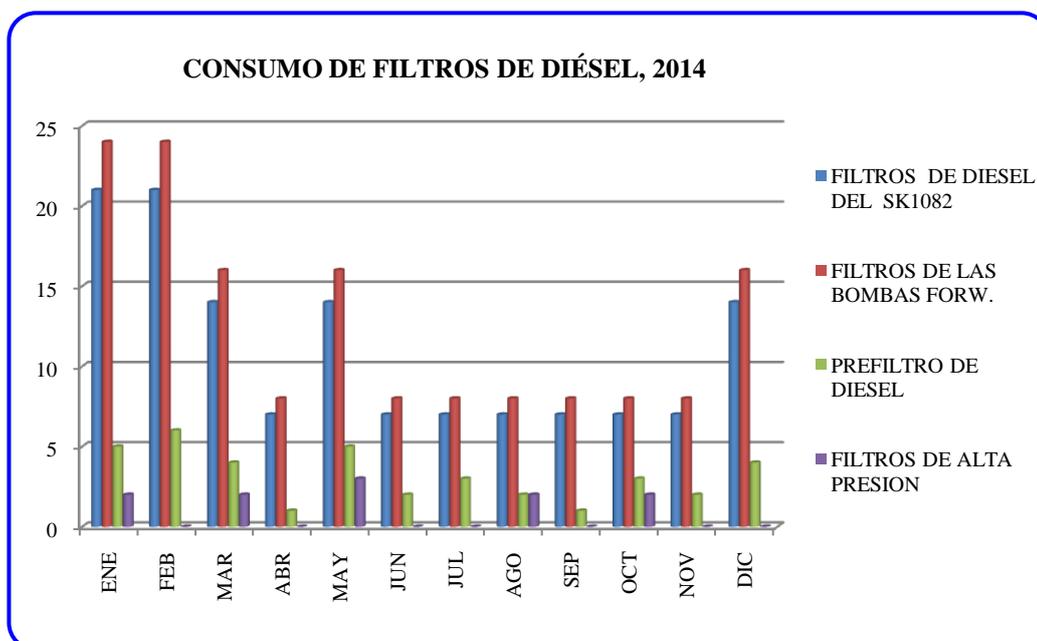
únicamente por horas de operación que establece el fabricante (720 horas) desde entonces el cambio es periódico y preventivo.

**Figura 3.39 Consumo de filtros de diésel 2013**



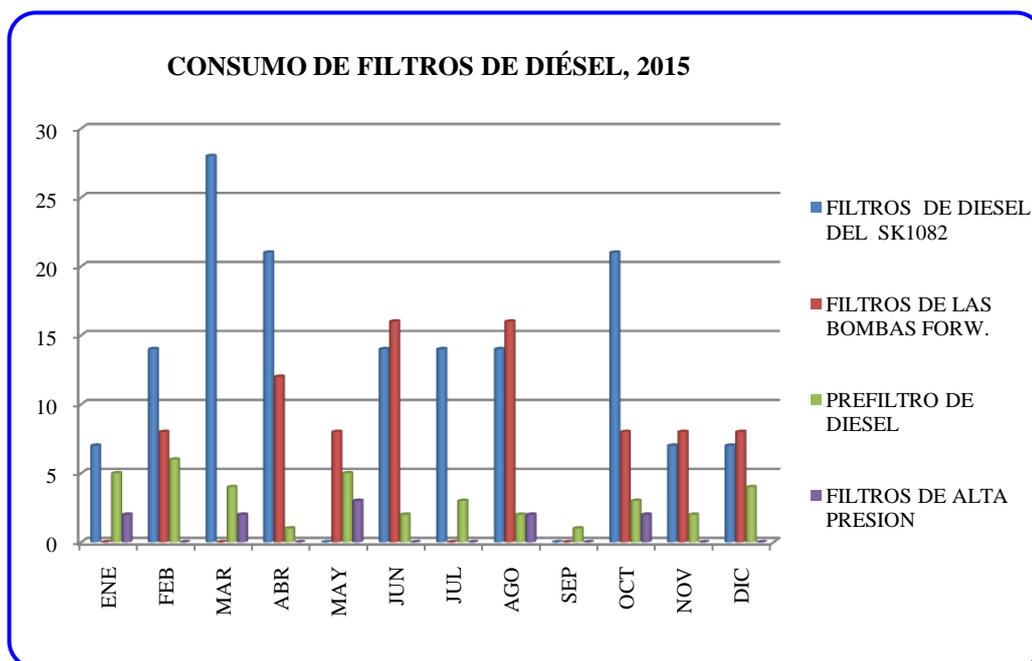
**Fuente:** Reportes Mensuales, Repsol 2013

**Figura 3.40 Consumo de filtros de diésel 2014**



**Fuente:** Reportes Mensuales, Repsol 2014

**Figura 3.41 Consumo de filtros de diésel 2015**



**Fuente:** Reportes Mensuales, Repsol 2015

### 3.4.6 Análisis de las Emisiones de Gases a la Atmósfera

Repsol fiel a su compromiso de mantener un control en sus actividades mantiene un cronograma de medición de las emisiones de gases a la atmósfera en sus diferentes fuentes de generación.

Esto se lo realiza de manera trimestral a fin de que en caso de detectarse desviaciones tomar los correctivos necesarios. En el Anexo 8 se presentan los valores de emisiones de gases a la atmósfera.

En este aspecto no se han podido realizar pruebas experimentales debido a que no se tiene implementado ningún sistema de reducción de elementos contaminantes, pero claramente se puede apreciar que cuando se tienen mantenimientos mayores esto es cambio de GG o LPT las emisiones se reducen ya que los elementos son nuevos. Además la calidad del combustible influye en gran medida por lo que el sistema de filtrado de combustible y de centrifugación ayuda a disminuir estas emisiones a la atmósfera.

## **CAPÍTULO IV**

### **LA PROPUESTA**

#### **4.1 Título de la propuesta**

Diseño de un Sistema de Gestión del Mantenimiento para el aprovechamiento energético de las turbinas LM2500 en el Bloque 16 de Repsol.

#### **4.2 Justificación**

El petróleo a partir de 1972 ha sido sin lugar a duda el producto de mayor importancia en la economía y sociedad de nuestro país. Con el apareamiento de nuevas técnicas y mejoramiento de los procesos industriales la producción de crudo se ha incrementado cada vez más y para sostenerla ha obligado un constante aumento de la energía requerida. Es por eso que se hace imprescindible hoy en día disponer de sistemas confiables y con alto rendimiento energético.

Repsol dispone para la extracción, producción y transporte de crudo de motores de combustión interna y turbinas LM2500.

El establecimiento de un adecuado plan de mantenimiento ayuda a la consecución de que los sistemas productivos continúen desempeñando las funciones deseadas y de esta manera contribuyen a conservar las actividades productivas, de las cuáles la empresa obtiene rentabilidad económica. El disponer de un adecuado plan de mantenimiento permite obtener mayor utilidad para la empresa, al disminuir los costos de mantenimiento por pérdidas (sobre mantenimiento, indisponibilidad de los servicios de producción), con lo cual se aumenta el margen potencial de ganancias, al sostener la influencia del costo del mantenimiento, en el costo final del producto.

Por lo tanto, es necesario gestionar correctamente las necesidades y/o prioridades de la función de mantenimiento, para lograr los efectos adecuados, a través de la mejora en cuanto a eficacia y eficiencia de los procesos con lo cual alcanzar la excelencia operativa, cuyo fundamento básico se refiere a ofrecer servicios a un

precio competitivo mediante el equilibrio entre la calidad y la funcionalidad, siendo la idea principal brindar el mejor costo total.

En este sentido, la Gestión del Mantenimiento se orienta a la búsqueda de metas comunes que deben ser desarrolladas y entendidas con el fin de reducir las restricciones, cuya consecución será el éxito de la empresa, y por ende del negocio.

Hoy, esta meta común, se basa en la existencia de la conformidad de la calidad de los procesos y la aceptación de los resultados obtenidos, todo bajo el concepto de la excelencia en la organización.

### **4.3 Objetivo**

#### **Objetivo General**

Diseñar un sistema de gestión del mantenimiento en base a los resultados obtenidos en el análisis de las condiciones operativas de las turbinas LM2500 para el aprovechamiento energético en el Bloque 16 de Repsol.

#### **Objetivos Específicos**

- Elaborar un plan de mantenimiento que sirva como base a futuras investigaciones encaminadas al mejoramiento del rendimiento de las turbinas LM2500.
- Establecer rutinas de mantenimientos que garanticen el incremento de la eficiencia de las turbinas LM2500.
- Mantener la disponibilidad de los equipos de generación eléctrica cumpliendo con las especificaciones y requerimientos necesarios para garantizar el correcto funcionamiento y alta eficiencia de las turbinas LM2500.

### **4.4 Estructura de la propuesta**

La propuesta del Sistema de Gestión de Mantenimiento consta de:

- Fundamentación del sistema de gestión del mantenimiento.
  - Mantenimiento preventivo
  - Mantenimiento predictivo
  - Mantenimiento correctivo

- Estructura del Sistema de Gestión de Mantenimiento.
- Alternativas adicionales para mejorar la eficiencia en las turbinas.

#### **4.4.1 Fundamentación del sistema de gestión del mantenimiento**

La fiabilidad y la disponibilidad de cualquier proceso en general dependen, en primer lugar, de su diseño y de la calidad de su montaje. En segundo lugar dependen de la forma y buenas costumbres del personal que operan las instalaciones. Pero en tercer lugar, dependen del mantenimiento que se realice en ella.

En toda organización se requiere establecer un sistema de gestión de mantenimiento que permita llevar un control sobre el funcionamiento, desempeño y cumplimiento de los objetivos determinados por la empresa. A nivel industrial todo sistema de gestión del mantenimiento dentro una organización debe preservar y garantizar que los equipos que pertenecen al proceso productivo de la empresa estén constantemente disponibles para operar, ya que de esto depende la existencia de la organización.

Con el propósito de garantizar el estado óptimo en los equipos, el sistema de gestión de mantenimiento debe planificar, programar, controlar y ejecutar los tipos de mantenimiento apropiados según los requerimientos de cada equipo.

El sistema de gestión de mantenimiento propuesto para las turbinas LM2500 de Repsol contempla tres tipos:

- Mantenimiento preventivo
- Mantenimiento predictivo
- Mantenimiento correctivo

Todos los esfuerzos estarán orientados a la prevención y detección temprana de fallas. Así, se llevarán a cabo los programas de mantenimiento que aseguren:

- Integridad de la planta, equipos y personas.
- Máxima disponibilidad.
- Máxima producción.
- Evitar fallas mayores y las pérdidas de tiempo asociadas.

- Reducción de costos operacionales.
- Cumplimiento de las normas ambientales y de ahorro energético
- Extensión de la vida útil del equipo.

El mantenimiento preventivo como se detalló en el capítulo I está orientado a reducir la frecuencia y el impacto de los fallos. Las turbinas LM2500 requieren una serie de labores de mantenimiento que contemplan actividades en las partes mecánicas, eléctrica y de control e instrumentación de las máquinas tales como:

- Limpieza del compresor de aire. Se realiza con un detergente. Hay dos sistemas de limpieza:
  - a) En carga (On Line). Se hace sin parar la turbina, bajando la carga, y se suele hacer periódicamente (cada semana).
  - b) En parada (Off Line). Hay que parar la turbina. Se hace cuando baja la potencia una cierta magnitud (por ejemplo un 3%).
- Sustitución de cartuchos del filtro de aire de entrada.
- Cambio de aceite de lubricación. Se hacen análisis periódicos para comprobar que mantiene características adecuadas. Normalmente no es necesario cambiar el aceite, sino que para mantener sus características es suficiente con rellenar lo que va perdiendo.
- Reparación de las partes calientes. Se realiza cada 20.000 - 25.000 horas de operación. Consiste en la revisión o sustitución de la cámara de combustión, inyectores y la primera rueda de álabes de la turbina de alta presión HPT y LPT.
- Overhaul: Normalmente se realiza cada 40.000 - 50.000 horas de operación. Incluye una revisión completa de la turbina GG (compresor, cámara de combustión, HPT y LPT), con reparación o sustitución de las partes afectadas.

Estas actividades se las realiza a fin de precautelar la vida útil de las partes de las turbinas, el trabajar superando estas horas establecidas por el fabricante provocará daño de los materiales incrementando los costes de mantenimiento.

Después de las labores de sustitución de partes calientes y overhaul, la turbina recupera una parte importante de sus prestaciones. A veces se dice que después del overhaul la turbina está a cero (como nueva), pero no es verdad. Muchas veces

durante el overhaul se cambia la turbina por otra nueva de mejores prestaciones, lo que además permite una parada mínima.

En el Anexo N° 12 se describen todas las actividades que se plantea desarrollar como parte del mantenimiento preventivo, el mismo que contempla una frecuencia de realización cada dos meses en lo que se refiere a los elementos más críticos, además de inspecciones semestrales y anuales en los elementos que presentan mayor complejidad su revisión constante.

El mantenimiento predictivo como se dijo en el capítulo I parte del conocimiento del estado de los equipos. La importancia de este mantenimiento radica en la necesidad de reducir los costes de los mantenimientos correctivo y preventivo. Como parte de este mantenimiento en el sistema de gestión del mantenimiento se plantean las inspecciones boroscópicas, las mismas que se las propone realizar con una frecuencia semestral. Estas inspecciones como se dijo en el capítulo I es una herramienta valiosa en la búsqueda de fallas ya que permite observar el interior de la turbina sin tener que desarmarla, así de esta manera poder determinar acciones a realizarse en función de lo encontrado tal como se presentó en las Figuras 3.32, 3.33 y 3.34.

En el mantenimiento correctivo tal como se expresó en el capítulo I sólo se interviene en los equipos cuando el fallo ya se ha producido. Este tipo de mantenimiento es el que menos se desea en la industria y está orientado a la solución de inmediato de problemas que afectan directamente al correcto funcionamiento de las máquinas

Para ello se categoriza a los mantenimientos clasificando las órdenes de trabajo en: Preventivas y Correctivas.

**Orden Preventiva:** Es la orden de trabajo utilizada para la ejecución de los programas de mantenimiento preventivo y son generadas como consecuencia de la programación de un plan de mantenimiento (por frecuencia, horómetro o condición) asociado a un equipo.

**Orden Correctiva:** Es la orden de trabajo utilizada para ejecución de tareas que son consecuencia de la falla de un equipo o componente, lo cual impide su correcto funcionamiento (falla funcional).

#### **4.4.2 Estructura del Sistema de Gestión de Mantenimiento**

### **SISTEMA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO DE LAS TURBINAS LM2500**

#### **Objetivos**

- Establecer el marco de referencia para la ejecución de las actividades de mantenimiento de Repsol en las turbinas LM2500. La estrategia debe ser implementada en las actividades de mantenimiento y será la base sobre la cual se tomen las decisiones referentes a la gestión de mantenimiento.
- Obtener la mayor eficiencia y efectividad en las turbinas de Repsol, así como minimizar las pérdidas de producción por la no disponibilidad de las turbinas, equipos y accesorios.
- Establecer un método eficiente y efectivo de ejecutar las estrategias de mantenimiento por medio de una programación para tener todo dispuesto el día de la ejecución de los trabajos.

#### **Alcance**

Este procedimiento tendrá ejecución en todas las actividades de mantenimiento o cambio de partes que se realizan en las turbinas LM2500 utilizadas para la generación eléctrica del Bloque 16 de Repsol.

#### **Responsabilidades y autoridades**

El presente Sistema de Gestión de Mantenimiento comprende las responsabilidades que se muestran en la Tabla 4.1.

**Tabla 4.1 Responsables del Sistema de Gestión de Mantenimiento**

<b>Cargo</b>	<b>Responsabilidad / Autoridad</b>
Jefe de Operaciones de Mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revisa y verifica el cumplimiento de procedimientos, registros e instructivos.</li> </ul>
Coordinador de Mantenimiento y Overhaul	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elabora indicadores, procedimientos, registros e instructivos para su posterior revisión y aprobación.</li> </ul>
Técnicos de Mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cumple este procedimiento.</li> </ul>
Coordinador de Generación Eléctrica.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Garantizan que lo estipulado en este procedimiento se cumpla y los registros que se generen para tal efecto se los lleve de manera adecuada en su elaboración y almacenamiento.</li> <li>• Verifica que todos los documentos que contiene este procedimiento se lleven de la manera correcta en cuanto a registros y archivos.</li> <li>• Mantiene la documentación actualizada, legible y ordenada.</li> </ul>
Operadores de generación eléctrica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conocen y cumplen con este procedimiento.</li> <li>• Archiva el registro de todos los parámetros de funcionamiento.</li> </ul>

**Fuente:** Manual de gestión de mantenimiento de equipos e instalaciones de Repsol (PO-IM-70-B16)

### **Misión**

Asegurar la integridad, confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad de las turbinas LM2500 empleando las mejores prácticas y tecnologías de mantenimiento, optimizando los recursos para el cumplimiento de los objetivos de producción, alineados con la política integrada de salud, seguridad, medio ambiente, sistema de gestión energética, calidad y la normativa corporativa de Repsol.

## **Visión**

Ser un referente interno y externo en la gestión de mantenimiento de las turbinas LM2500, orientados a la creación de valor y a la satisfacción del cliente, soportado en un equipo de trabajo calificado con el compromiso de alcanzar en el corto plazo ubicar la gestión dentro del “Mantenimiento de Clase Mundial”; consolidando a la gestión de mantenimiento como pilar fundamental de Repsol.

## **Política de mantenimiento**

Repsol, a través de las áreas de Mantenimiento, Energía y Producción, asume el compromiso de establecer, aplicar y mejorar en forma permanente prácticas y metodologías que permitan incrementar la eficiencia de las turbinas y la optimización de recursos.

Para lograrlo, el personal se compromete a:

- Establecer objetivos y metas de integridad, mantenimiento y costos, que soporten la creación de valor del negocio.
- Utilizar en forma eficiente los recursos para alcanzar la mejora continua de la gestión de mantenimiento.
- Cumplir con las estrategias y planes de mantenimiento de turbinas respetando el medio ambiente y en seguimiento de las normas y políticas de seguridad, establecidas por la organización, permitiendo en el tiempo tener un mínimo de fallas mediante una actitud orientada hacia la mejora continua de nuestro personal y procesos.
- Utilizar en forma adecuada las herramientas que estén vinculadas con el registro de todos los datos e información relevante de las actividades de mantenimiento, de acuerdo a los procedimientos establecidos para tal fin.
- Dar cumplimiento a las acciones de mejora que sean fruto de cualquier análisis, aprendiendo de las mismas y tendiendo, a través de su aplicación a la eliminación sistemática en el tiempo de eventos no deseados.

La comunicación de esta Política se hará extensiva a todo el personal, propio y contratado que se desempeña dentro de las áreas concesionadas a Repsol.

### **Estrategia de Mantenimiento**

Para el cumplimiento del Sistema de Gestión del Mantenimiento, es necesario definir cómo se llevará a cabo las actividades de mantenimiento de las turbinas mediante la aplicación de la estrategia de mantenimiento; en esta se especificará la familia de equipos, tipos de mantenimientos, planes de trabajo, frecuencias de mantenimiento, recursos necesarios y tiempos efectivos estimados.

### **Interrelación departamental en el proceso de Mantenimiento**

Los departamentos involucrados directamente en la actividad de mantenimiento se encuentran interrelacionados y deben trabajar de manera mancomunada. Las áreas que están directamente interrelacionadas son:

- Ingeniería de Mantenimiento
- Energía
- Producción
- Operaciones de Mantenimiento

Las actividades de mantenimiento están regidas bajo los procedimientos establecidos por cada departamento.

### **Prioridad de ejecución del trabajo**

La prioridad de trabajo permite evaluar, identificar y determinar el diagnóstico de un evento de mantenimiento o falla reportado mediante una orden de trabajo donde se aplican los códigos de prioridad de la Tabla 4.2.

**Tabla 4.2 Prioridad de ejecución de trabajo**

<b>Código</b>	<b>Descripción</b>	<b>Plazo</b>
<b>0</b>	(emergencia)	24 horas.
<b>A</b>	(alta)	72 horas
<b>B</b>	(normal)	2 semanas
<b>C</b>	(oportunidad)	sin plazo definido

**Fuente:** Manual de gestión de mantenimiento de equipos e instalaciones de Repsol (PO-IM-70-B16)

## **Metodologías implementadas en la gestión del Mantenimiento**

Las técnicas y metodologías que podrán ser adoptadas en la gestión de mantenimiento son:

- Sistema de gestión de mantenimiento SAP PM
- Planificación y programación de mantenimiento
- RCM
- PMO
- Análisis de fallas
- Técnicas predictivas CBM

### *Sistema de gestión del mantenimiento SAP PM.*

Para la adecuada implementación de la gestión de mantenimiento, es fundamental contar con una base de información, sobre la cual se reflejarán las actividades diarias de mantenimiento, permitiéndonos medir indicadores (KPIs) y evaluar el desempeño del Mantenimiento.

### *Planificación y programación de mantenimiento*

La planificación es responsabilidad de Ingeniería de Mantenimiento con el principal objetivo de organizar las actividades en el mediano y largo plazo, que permita disponer de los planes de trabajo y recursos necesarios para su cumplimiento (mano de obra, herramientas, materiales).

La programación del mantenimiento es responsabilidad de las áreas de mantenimiento en campo lo cual permite determinar las actividades en forma semanal/quincenal dependiendo de los recursos y condiciones disponibles.

La planificación es un proceso continuo que refleja los cambios del ambiente en torno a cada organización y busca adaptarse a ello.

### *Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM)*

Filosofía de mantenimiento utilizada para determinar las acciones a cumplirse con los activos o sistemas industriales para preservar su función y garantizar su disponibilidad, considerando las circunstancias en las que se encuentra operando dicho activo o sistema.

### PMO (Planned Maintenance Optimization)

Herramienta específicamente diseñada para revisar los requerimientos de mantenimiento, el historial de fallas y la documentación técnica para que los activos se encuentren en operación.

### Análisis de fallas

Es una metodología de análisis que permite identificar las causas físicas, humanas y latentes de cualquier tipo de falla o incidente que ocurren una o varias veces permitiendo adoptar las acciones correctivas enmarcadas en el concepto de la mejora continua, según la metodología de Análisis Causa Raíz.

### Técnicas predictivas (CBM)

El propósito principal del Monitoreo de Condición es evitar daños en los equipos y paradas para la realización de tareas cíclicas innecesarias, mediante el monitoreo de la condición/estado de alguna variable o componente.

Las técnicas predictivas que se conocen son las siguientes:

- Análisis de equipos recíprocos
- Análisis de vibraciones de equipos rotativos
- Análisis de Aceite
- Termografía infrarroja
- Ultrasonido
- Inspecciones Boroscópicas

### **Criterios de selección de metodología de Mantenimiento a implementarse**

La estrategia de mantenimiento a ser realizada en los equipos serán definidos de acuerdo con los siguientes criterios:

- Criticidad y Riesgo del equipo
- Recomendación del fabricante
- Relación costo / beneficio
- Experiencia operacional (Historial de fallas)
- Normas internacionales para el mantenimiento

### **Indicadores de gestión (Key Performance Indicators KPI)**

Los indicadores de Gestión de Mantenimiento son un pilar muy importante en la gestión de mantenimiento que permiten medir, controlar y actuar sobre desviaciones de factores claves del desempeño.

#### **4.4.3 Alternativas adicionales para mejorar la eficiencia en las turbinas.**

En el capítulo III de la presente investigación se identifica la situación actual de trabajo de las turbinas LM2500 de Repsol y los diferentes factores que afectan su rendimiento. Lo que se pretende con esta propuesta es elevar el rendimiento térmico de las turbinas, es decir para la misma cantidad de combustible tener mayor generación eléctrica la misma que pueda ser aprovechada en el proceso de extracción del crudo.

Las ecuaciones Ec.3 y Ec.4 determinan que los elementos que influyen en la eficiencia de las turbinas son:

- La temperatura de ingreso a la turbina [CIT].
- La presión atmosférica [P1].
- El flujo de combustible [FT-1247].
- La potencia generada.
- El poder calorífico del combustible.

Partiendo de este análisis los aspectos que deben considerarse al elaborar el plan de mantenimiento de las turbinas LM2500 encaminados en mejorar el rendimiento y por ende tener un mayor aprovechamiento energético están enfocados en las variables que se puede tener acceso y que a la medida de lo posible son viables para modificarlos adecuadamente. Estas son los que se detalla a continuación:

##### **a. La temperatura de ingreso a la turbina [CIT]**

Como se analizó en el capítulo III la temperatura de ingreso a la turbina [CIT] es inversamente proporcional a la potencia generada por lo que un aspecto fundamental es trabajar en mantener un ingreso de aire en una menor temperatura lo que da lugar a un caudal másico mayor debido al aumento de la densidad del aire. Si bien está variable está ligada a la temperatura ambiente se la puede asociar

también a la calidad del aire que ingresa a la turbina. En el análisis de resultados en la Figura 3.21 se determinó que la variación provocada por la variación de temperatura ambiente es de 1MW en la potencia generada y es aquí donde cobra importancia el sistema de enfriamiento de aire de ingreso a la turbina.

Los parámetros que se tienen en cuenta para seleccionar el tipo de sistema de enfriamiento más conveniente incluyen: el tipo de turbina, las condiciones climáticas, las horas de operación de la turbina, la relación entre flujo másico y potencia generada y el precio de la energía en el mercado.

Las principales ventajas que se obtienen al enfriar el aire en la succión del compresor son: mejoramiento en la potencia de salida, disminución del consumo térmico específico en ciclo simple y ciclo combinado y disminución en las emisiones debido al mejoramiento en la eficiencia total.

De los resultados obtenidos en el capítulo anterior el incremento de generación en cada turbina es de 1MW pero en ciertos períodos del día donde la temperatura baja, como puede ser por efecto de la lluvia o en la noche básicamente, por lo que se plantean diferentes sistemas que ayuden a conseguir este efecto de manera constante sin importar las condiciones climáticas que se presenten.

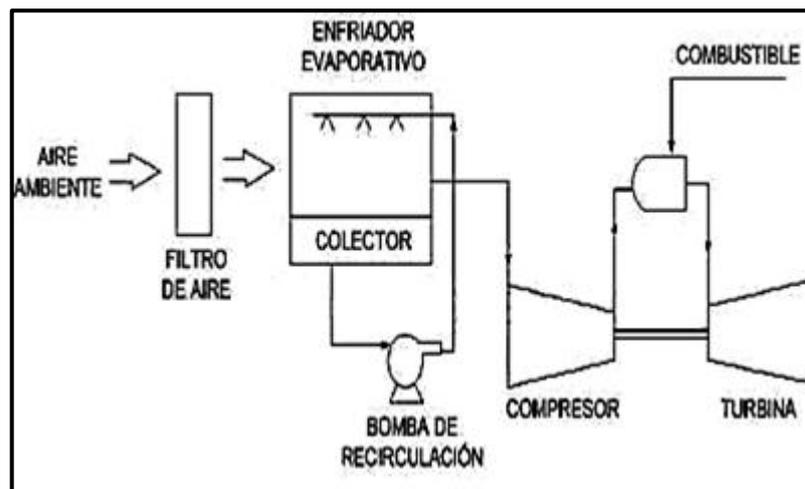
- **Enfriador evaporativo**

El enfriador que se muestra en la Figura 4.1 consiste en un tramo de conducto después del filtro de aire, en cuyo interior hay un medio de evaporación compuesto generalmente por un elemento poroso como la celulosa, que favorece el contacto del agua que cae con el aire. Sobre la parte superior de este relleno se pulveriza agua, que resbala hasta abajo evaporándose parcialmente al contacto con aire seco y caliente en flujo cruzado. La evaporación se produce debido a que el aire caliente cede su energía al agua. El agua que no se ha evaporado cae a una balsa o depósito en la parte inferior, lugar del que es aspirada por una bomba que la envía de nuevo a los aspersores superiores. El nivel de agua se mantiene con un relleno continuo para reponer el agua evaporada. Además hay una purga continua, cuyo objetivo es limitar la concentración de sales, que arrastradas pueden dañar o ensuciar el compresor de la turbina. Estas sales se precipitarían en el caso de no

existir purga continua, pues a medida que se evapora agua iría aumentando la concentración de sales hasta llegar al límite de solubilidad.

El agua de alimentación a estos enfriadores no debe ser dura, si no es agua de buena calidad debe ser descalcificado mejor aún desmineralizada, de esta manera puede ser mantenida en calidad aceptable sin necesidad de grandes purgas. Esta solución es la más adecuada en climas secos, donde se consigue un importante aumento de los beneficios de la planta con una pequeña inversión. Un enfriador evaporativo incrementa la humedad relativa hasta valores alrededor del 85%. La capacidad de enfriamiento de este sistema está limitada por la diferencia entre las temperaturas del bulbo seco y bulbo húmedo del ambiente. Sus ventajas son sus bajos costos en un inicio y su facilidad de operación.

**Figura 4.1 Enfriador evaporativo**



**Fuente:** (OpexEnergy)

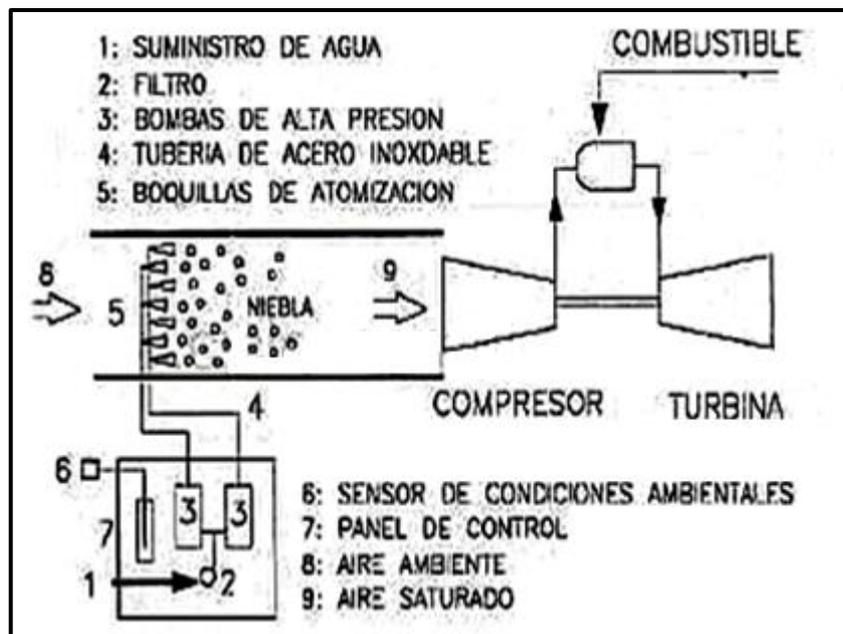
- **Sistema de Niebla (Fogging System)**

Es una variante del enfriador evaporativo. Este sistema nebulizador “fogsystem”, que consiste en pulverizar agua finamente en la corriente de aire de entrada, bajando su temperatura hasta las proximidades de la temperatura de bulbo húmedo. Este sistema necesita agua de buena calidad y naturalmente no requiere purga continua. Con este sistema se puede conseguir mejor eficiencia que con el enfriador evaporativo tradicional y tiene más facilidad de explotación.

Este sistema trabaja con el mismo principio del enfriador evaporativo, pero en lugar de un filtro usa billones de micro gotas de agua atomizada para el intercambio de energía, y es posible alcanzar disminuciones en la temperatura del aire de hasta 20°F. Este sistema eleva la humedad relativa hasta el 100%.

La Figura 4.2 muestra un esquema de este sistema y señala sus componentes. Sus costos de capital son comparativamente bajos y su operación no es compleja.

**Figura 4.2 Sistema de Niebla**



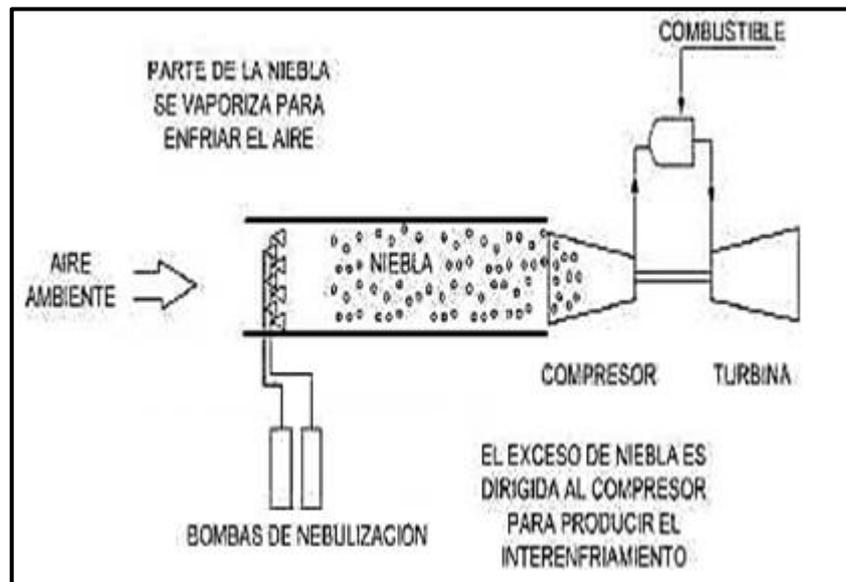
**Fuente:** (OpexEnergy)

- **Compresión Húmeda (Wet Compression)**

La “compresión húmeda” proporciona un método económico para producir un aumento significativo en la capacidad de generación de una turbina de gas. En la Figura 4.3 se incluye un sistema de atomización y rocío, modificaciones en la lógica de control de la turbina de gas y cambios adicionales en algunos componentes, a fin de hacerlos más seguros y confiables. El incremento en la potencia viene de una combinación de los efectos de un enfriamiento evaporativo, un incremento en el flujo másico y una reducción en el trabajo del compresor debido a un inter enfriamiento en las primeras etapas del mismo. Los incrementos

de potencia logrados con este sistema oscilan entre el 10% y el 25%, y son más confiables que los alcanzados por enfriadores evaporativos y sistemas de niebla, ya que no dependen de la humedad relativa del medio ambiente.

**Figura 4.3 Compresión Húmeda**



**Fuente:** (OpexEnergy)

- **Enfriamiento con intercambiador**

Se trata de interponer un intercambiador en el sistema de aire de entrada de la turbina de gas, a través del que se hace circular un fluido frío, normalmente agua. Hay una temperatura mínima de trabajo, que suele estar en unos 5°C, para evitar la formación de escarcha en la entrada del compresor de la turbina.

Con este sistema se pueden aumentar más las prestaciones de la turbina que con el enfriador evaporativo, pero requiere una mayor inversión, y además consume energía.

- **Inyección de vapor en turbina de gas**

Las turbinas de gas pueden admitir en la mayor parte de los casos inyección de agua o vapor. Esto tiene dos efectos principales, aumenta la potencia y disminuye las emisiones de NOx. Además de estos efectos beneficiosos, tiene otros efectos no deseados, a saber, aumenta las emisiones de CO y aumenta los costos de mantenimiento.

Cuando el objetivo perseguido es sobre todo bajar el nivel de NO<sub>x</sub>, el vapor se inyecta en la cámara de combustión. La tendencia en cualquier caso es no inyectar en la turbina de potencia, puesto que puede producir deterioro prematuro de ésta.

#### **b. El flujo de combustible y el poder calorífico del combustible**

El flujo de combustible hacia las turbinas se convierte en la principal fuente de alimentación para el movimiento de las turbinas.

Los requisitos exigidos al combustible, de forma general, son los siguientes:

- Estar exentos de partículas e impurezas para evitar cualquier tipo de erosiones en los álabes de la turbina.
- Mínimo contenido (mejor exentos) de azufre para conseguir un máximo nivel de recuperación del calor contenido en los gases de escape y evitar corrosión en la turbina.
- Adecuada presión de suministro (características en cada máquina).

No obstante, habiendo seleccionado un tipo de combustible es importante que las características del mismo se ajusten a las especificaciones del fabricante de la turbina de gas elegida. Dichas condiciones requeridas se cumplen sin dificultad en el caso en que la alimentación sea por una red de gas natural.

De acuerdo a lo analizado en el capítulo III el empleo de la máquina para centrifugar el diésel ha dado grandes resultados en cuanto a la utilización y cambio de filtros, en donde como se aprecia en las Figuras 3.39, 3.40 y 3.41 hasta mayo de 2014 el consumo por mes de filtros de diésel era alto y a partir de esa fecha que es donde se instala la centrífuga se reduce. Además del ahorro en filtros de diésel hay que tomar en cuenta el daño de válvulas de combustible y cambio de inyectores se ha reducido.

El combustible aporta el poder calorífico necesario para el proceso químico que interviene en la combustión, es donde la mezcla del aire de ingreso comprimido al unirse con el combustible se quema y se produce la expansión de gases los cuales son los encargados de mover la turbina HPT y LPT, es ahí donde se toma en cuenta la calidad y cantidad del combustible inyectado.

De aquí nace la importancia de conservar el sistema de centrifugado con el que actualmente se cuenta. Dentro del mantenimiento que se realiza a las turbinas se

debe contemplar el análisis de los parámetros del diésel a fin de controlar que no salga de especificaciones, por lo que se propone un análisis en laboratorio cada dos meses. Además se propone para eliminar la presencia de agua en los tanques de almacenamiento el drenaje diario.

### **c. Caídas en los filtros de aire**

Puede haber una caída de presión significativa a través de un filtro de aire sucio. Esto disminuye la presión de entrada del compresor y consecuentemente se incrementa la relación de compresión. Un incremento en la relación de compresión cambia no solamente la eficiencia del compresor, sino también el flujo a través del sistema lo que a su vez provoca la disminución de la potencia de salida de la turbina como se demostró en la Figura 3.22 y 3.23 en donde a causa del taponamiento de los filtros de aire se llegó a perder hasta 2MW de generación especialmente cuando se llegó al cuarto mes de operación.

A la velocidad de diseño, la eficiencia de la sección de turbina típica es esencialmente constante y usualmente cae en el rango de 80 a 90%. Las pérdidas atribuidas a la sección de la turbina también incluyen, suciedad, erosión, y corrosión. Es suficiente decir aquí que cualquier disminución en rendimiento de los componentes de la máquina está acompañada por un incremento requerido de la temperatura de entrada de la turbina para mantener una potencia dada del eje de salida. Dicho de otra forma, para una temperatura de entrada a la turbina dada, la presión de trabajo y potencia del eje disminuyen con el incremento de pérdidas en los componentes.

En la actualidad el cambio de los filtros de aire se los hace con una frecuencia trimestral en el mejor de los casos, pero al hacerlo de esta manera a partir del tercer mes de trabajo se aprecia la caída de la potencia generada por la turbina de manera significativa en 2 MW. Razón por la cual se contempla cambiar la frecuencia de estos cambios de filtros de aire a dos meses a fin de mantener la potencia de funcionamiento constante. Como se dijo en las Figuras 3.24 y 3.25 luego de un mantenimiento es decir con el respectivo cambio del sistema de filtrado de aire, limpieza del recinto de entrada y lavado del compresor se recupera 1 MW promedio de generación.

Se debe tener en cuenta que este cambio en la frecuencia de mantenimiento provocará un incremento en los costos de repuestos, pero el mismo será solventado con lo recuperado al no reducir la potencia generada lo que se traduce en producción especialmente en el tercer mes de operación luego de un mantenimiento. Si se cambia de filtros al segundo mes de operación la potencia generada por cada turbina no caerá en gran medida y esa energía siempre estará disponible para el proceso de producción.

En el momento en que los filtros se saturan de partículas, se forma una especie de “torta” y es necesario proceder a su limpieza. Aquí surge una alternativa en el caso de que no se pueda emplear el cambio de mantenimiento a una frecuencia de cada dos meses. Se plantea un filtro autolimpiante, en donde la limpieza se lleva a cabo en forma de “pulsos” con aire a presión, que fluye en la dirección opuesta al aire de combustión. Al aplicar este aire la “torta” cae por gravedad y se recoge en la parte inferior, desde donde se evacua al exterior.

#### **d. Limpieza del compresor de aire**

Como la eficiencia es muy sensitiva a los cambios, es importante que la unidad este corriendo tan cerca de sus condiciones óptimas como sea posible. Adicionalmente, la suciedad en el compresor, la erosión y corrosión, pueden cambiar las características de un compresor, incluyendo su eficiencia. Por esta razón, un 5% de pérdida de eficiencia del compresor puede causar tanto como un 10% de pérdida en la eficiencia global.

En lo que se refiere al mantenimiento del compresor de aire de la turbina es necesario seguir haciendo el Lavado On Line como hasta ahora con una frecuencia semanal. Este lavado debe ser con agua desmineralizada tal es el caso de agua destilada, a fin de evitar que las sales que están presentes en el agua se impregnen en el compresor o álabes provocando daños posteriores. Se recomienda realizar este tipo de lavado por lo menos una vez cada semana, dado que el porcentaje de degradación en el desempeño de la máquina es de 2% por semana.

En cuanto al lavado Off Line, como su nombre lo indica es realizado cuando la turbina está apagada, se lo hace con la ayuda de un químico que remueve la suciedad del compresor. La frecuencia en el uso de este tipo de lavado depende de

las condiciones operativas de la máquina. De acuerdo a las inspecciones boroscópicas realizadas se recomienda que este lavado se lo realice en cada mantenimiento es decir cada dos meses a fin de evitar daños futuros. De aquí también podemos decir que la importancia de la boroscopia de la turbina es alta a fin de precautelar la vida útil de la máquina, es por ello que se plantea una inspección mínima cada seis meses para tener un monitoreo completo de las condiciones en las que trabaja la turbina. El lavado Off Line está ligado al mantenimiento y por ende en conjunto con el cambio de filtros de aire provocan que se recupere 1MW en la generación de la turbina.

#### 4.4.4 Análisis Económico

El análisis económico para la propuesta de este Plan de Gestión de Mantenimiento en las turbinas LM2500 de Repsol, que está enfocado en buscar alternativas para incrementar la eficiencia de las turbinas la misma que con el pasar de los días se va perdiendo poco a poco, contempla el costo de generación con combustible diésel, es decir se establece el ahorro que se tendrá al recuperar 1 MW generado por las turbinas.

Como se mencionó en el capítulo III Repsol dispone de una planta de destilación de diésel (Planta Topping) la misma que suministra el combustible que necesitan las turbinas para su operación. La Planta Topping actualmente trabaja con los datos operativos que se muestra en la Tabla 4.3.

**Tabla 4.3 Producción Planta Topping**

<b>PRODUCCIÓN DIÉSEL PLANTA TOPPING</b>	
Producción BPD	<b>1.601,00</b>
Transferido BPD	<b>1.605,64</b>
Carga BPD	6.995,20
Grado API de carga	17,40
Residuo BPD	5.228,52
Grado API del Residuo	9,70
Consumo de diésel	0,00

**Fuente:** Datos de Producción Planta Topping, Repsol 2016

En donde para producir 1.601 BPD de diésel se necesitan 6.995 BPD de crudo con un residuo de 5.228 BPD. Este residuo es re-procesado y mezclado con el crudo extraído.

Se puede decir entonces que aproximadamente 1 barril de diésel producido en la Planta Topping corresponde del empleo de 1 barril de crudo extraído, siendo así su costo de producción el del precio internacional del crudo (se ha asumido un precio de \$40 por barril de crudo).

Ahora en la Figura 3.17 se estableció la Línea Base de las turbinas y se determinó el factor de 47 BBLs/MW.

Lo que nos quiere decir que:

$$47 \frac{BBLs}{MW} * \$40$$

El precio por generar 1 MW al día con las turbinas LM2500 de Repsol es:

**\$1.880**

Este valor traduciéndolo a un año de trabajo es:

**\$ 686.200**

Este será el valor de ahorro por cada MW que se logre recuperar cuando se pierde eficiencia en las turbinas de Repsol.

#### **4.5 Verificación de la hipótesis**

Al inicio de la presente investigación se planteó la siguiente hipótesis:

*Con la implementación del plan de gestión de mantenimiento y si se determinan aspectos puntuales de las condiciones actuales de las turbinas LM2500 entonces se dispondrá de una mejora en el aprovechamiento energético.*

Mediante la presente investigación se determinó que uno de los aspectos que influye en el rendimiento de la turbina es la temperatura de ingreso de aire. De las pruebas experimentales se observó que 1MW de generación se pierde cuando la temperatura incrementa por lo que se plantean sistemas de enfriamiento del aire a

fin de no sufrir esta pérdida de potencia sin importar las condiciones climáticas que por la zona de operación de Repsol son drásticas para las turbinas.

Además de la temperatura del aire se determinó que el ensuciamiento o degradación de los filtros de aire provoca disminución del rendimiento de las turbinas en 2 MW al tercer y cuarto mes. De aquí surge el plan de mantenimiento el cual contempla el cambio de frecuencia y por ende la reducción de la vida útil de estos filtros a dos meses de operación a fin de evitar pérdidas de potencia de 2MW.

De igual manera dentro del plan de mantenimiento se contempla el sistema de limpieza del compresor de aire, mediante el uso adecuado de los lavados On Line y Off Line, el mismo que cuando la máquina trabaja se lo hace cada semana y cuando se la detiene para mantenimiento se lo debe hacer en forma estricta esto es cada dos meses a fin de evitar daños posteriores y evitar la pérdida de potencia entre 1 y 2 MW como se analizó en el capítulo anterior.

Con lo cual la hipótesis planteada a inicio de la investigación ha sido comprobada debido a que se han encontrado los problemas que afectan el rendimiento de las turbinas de Repsol y se han generado propuestas efectivas que garanticen evitar la reducción de potencia e incluso el incremento del rendimiento.

## CONCLUSIONES

- El plan de gestión del mantenimiento propuesto está encaminado en conseguir el mayor rendimiento posible en las turbinas LM2500 esto es 17MW aplicando los mantenimientos adecuados, mientras que si se descuida el mantenimiento se tiene una reducción de la potencia generada en 2 MW y esto también puede afectar seriamente a las partes internas de la máquina.
- Se han identificado los aspectos que intervienen en la eficiencia de las turbinas LM2500 de Repsol, para modificar la potencia de las turbinas se deben alterar principalmente el flujo másico que pasa a través de los álabes de la turbina y la temperatura del fluido de trabajo a la entrada del rotor, es por ello que al implementar un sistema de enfriamiento del aire de entrada a las turbinas se logrará un incremento de la potencia de la turbina en 1 MW.
- Con el desarrollo de la presente investigación se determinó la situación actual en la cual se desempeñan las turbinas LM2500 de Repsol. Dentro del plan de mantenimiento propuesto se establecen diferentes alternativas tales como cambio de rutinas de mantenimiento, sistemas de enfriamiento del aire de admisión que se las pueden tomar a fin de mejorar las condiciones en las cuales trabajan actualmente las turbinas.
- Se ha determinado que el ahorro a obtenerse por cada MW al recuperar eficiencia en las turbinas es de \$686.200 al año. Al aplicar un correcto sistema de mantenimiento además del ahorro económico señalado se evita un daño en las partes internas de las turbinas lo que a su vez se verá reflejado en una buena combustión que a su vez permitirá reducir de esta manera los niveles de emisiones de gases a la atmósfera.
- La importancia de la inspección boroscópica es alta en el afán de precautelar la vida útil de la turbina ya que es el único método efectivo de poder conocer el estado de las partes internas, y se debe establecer una frecuencia de inspección semestral para llevar una estadística y control adecuado.

## RECOMENDACIONES

- Es necesario hacer un análisis profundo de los componentes químicos de los combustibles empleados en el funcionamiento de las turbinas. Existen ciertos elementos que varían su comportamiento alterando su poder calorífico. Además se debe analizar el inconveniente que produce la presencia de agua en los tanques de almacenamiento de diésel.
- Existe otra alternativa para mejorar la eficiencia en las turbinas. El uso de los gases de escape que se producen en el proceso de la combustión son una fuente potencial de cogeneración ayudando de esta manera a reducir las emisiones de gases a la atmósfera.
- A fin de conseguir una mejora significativa de la eficiencia de las turbinas es importante contemplar la propuesta del empleo de sistemas de enfriamiento del aire de admisión a las turbinas.
- La posibilidad de alterar el sistema de control de las turbinas en donde se pueda trabajar con ambos combustibles gas y diésel al mismo tiempo podría ser una variante interesante en búsqueda de alcanzar eficiencia y por ende ahorro de combustible.
- Es importante tener un cumplimiento estricto de la presente propuesta del sistema de gestión de mantenimiento de las turbinas, en donde es necesario difundir a los participantes de este plan como son operadores, técnicos, coordinadores y las distintas jefaturas dentro de Repsol.
- El uso de sistemas adecuados para llevar un historial de los diferentes daños, cambios de partes y mantenimientos efectuados en las turbinas es de vital importancia a fin de tener una retro alimentación para optimizar tiempos de paradas y una fuente de información para trabajos similares que se puedan presentar.

## BIBLIOGRAFÍA

- Cegarra, J. (2011). *Metodología de la investigación científica y tecnológica*. Madrid: Díaz de Santos.
- Díaz, V. (2009). *Metodología de la investigación científica y bioestadística para profesionales y estudiantes de ciencias de la salud*. Santiago: RiL.
- Fernández, J. F. (2009). *CICLO BRAYTON TURBINAS A GAS*. Mendoza: Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional.
- Fraile, D. (2008). *Cogeneración: Aspectos Tecnológicos*. EOI.
- *Gas Turbine Engineering* 2002 Houston, Texas Butterworth - Heinemann
- GE. (2012). LM2500 Gas Turbine Familiarization.
- GE. *Turbine LM2500*. Houston.
- GE, I. S. (2009). *G60 Generator Management Relay*. Retrieved Octubre 2015, from UR Series Instruction Manual: <http://www.gegridsolutions.com/products/manuals/g60/g60man-f4.pdf>
- Giampaolo, T. (2009). *Gas Turbine Handbook Principles and Practice*. Florida: The Fairmont Press.
- Gómez de León, F. C. (1998). *Tecnología del Mantenimiento Industrial*. Murcia: Servicio de Publicaciones Universidad de Murcia.
- *Industrial gas turbines Performance and operability* 2007 Florida CRC Press
- Medanito. (2005). *Curso Básico de Turbinas*. Quito.
- Muñoz, M. B. (2003). *Mantenimiento Industrial*. Retrieved Octubre 2015, from <http://ocw.uc3m.es/ingenieria-mecanica/tecnologia-de-maquinas/material-de-clase-1/MANTENIMIENTO.pdf>
- Olympus. (n.d.). *IPLEX FX*. Retrieved Octubre 2015, from <http://www.olympus-ims.com/es/rvi-products/ipler-fx/>

- OpexEnergy. (n.d.). *Opex Energy*. Retrieved from [http://opex-energy.com/ciclos/optimizacion\\_del\\_rendimiento\\_CTCC.html](http://opex-energy.com/ciclos/optimizacion_del_rendimiento_CTCC.html)
- Renovetec. (2015). *Renovetec*. Retrieved Septiembre 2015, from <http://www.lm-2500.com/index.php/descripcion-general-de-la-turbina-lm-2500>
- Tamayo y Tamayo, M. (2004). *El proceso de la investigación científica*. México: Limusa.
- Testo. (n.d.). *Sistema Portátil de Análisis de Productos de la Combustión testo 350*. Retrieved Octubre 2015, from [http://www.baldorsrl.com.ar/informe\\_manuales/t350\\_sxl.pdf](http://www.baldorsrl.com.ar/informe_manuales/t350_sxl.pdf)

# **ANEXOS**

**2013**

		<b>T2 (F)</b>	<b>P1 (HG)</b>	<b>FF (GPM)</b>	<b>POT (MWh)</b>	<b>LHV (BTU/gal)</b>	<b>TE (%)</b>	
<b>ENE 13</b>	SEMANA 1	87,60	29,06	20,04	14,95	134.067	<b>31,65%</b>	<b>30,85%</b>
	SEMANA 2	85,60	29,09	20,71	15,07	134.067	<b>30,87%</b>	
	SEMANA 3	90,00	29,09	20,07	14,41	134.067	<b>30,46%</b>	
	SEMANA 4	91,00	29,06	19,94	14,30	134.067	<b>30,43%</b>	
<b>FEB 13</b>	SEMANA 1	85,50	29,09	21,10	15,52	134.068	<b>31,21%</b>	<b>31,49%</b>
	SEMANA 2	84,20	29,00	20,94	15,53	134.067	<b>31,46%</b>	
	SEMANA 3	85,00	29,09	20,56	15,14	134.067	<b>31,24%</b>	
	SEMANA 4	75,00	29,09	22,10	16,70	134.067	<b>32,06%</b>	
<b>MAR 13</b>	SEMANA 1	78,40	29,09	20,38	15,17	134.067	<b>31,58%</b>	<b>31,63%</b>
	SEMANA 2	78,20	29,21	20,86	15,53	134.067	<b>31,59%</b>	
	SEMANA 3	81,00	29,06	20,60	15,52	134.067	<b>31,96%</b>	
	SEMANA 4	89,60	29,00	20,61	15,25	134.067	<b>31,39%</b>	
<b>ABR 13</b>	SEMANA 1	77,50	29,21	21,70	16,50	134.067	<b>32,26%</b>	<b>31,60%</b>
	SEMANA 2	78,80	29,12	21,99	16,55	134.496	<b>31,83%</b>	
	SEMANA 3	79,30	29,21	19,74	14,51	134.496	<b>31,09%</b>	
	SEMANA 4	69,00	29,20	21,50	16,40	134.496	<b>32,26%</b>	
	SEMANA 5	91,40	29,06	19,52	14,11	134.496	<b>30,57%</b>	
<b>MAY 13</b>	SEMANA 1	80,00	29,15	21,69	16,31	134.496	<b>31,80%</b>	<b>31,42%</b>
	SEMANA 2	88,40	29,06	21,16	15,78	134.496	<b>31,54%</b>	
	SEMANA 3	83,00	29,10	18,55	13,20	134.496	<b>30,09%</b>	
	SEMANA 4	72,00	29,21	21,90	16,70	134.496	<b>32,25%</b>	
<b>JUN 13</b>	SEMANA 1	86,10	29,26	21,26	15,87	134.496	<b>31,57%</b>	<b>32,19%</b>
	SEMANA 2	77,30	29,26	21,80	16,70	134.496	<b>32,40%</b>	
	SEMANA 3	80,40	29,20	21,02	15,67	134.496	<b>31,53%</b>	
	SEMANA 4	78,20	29,20	21,02	16,52	134.496	<b>33,24%</b>	
	SEMANA 5	76,90	29,15	21,50	16,37	134.496	<b>32,20%</b>	
<b>JUL 13</b>	SEMANA 1	85,60	29,09	21,45	15,60	134.496	<b>30,76%</b>	<b>30,49%</b>
	SEMANA 2	81,00	29,26	21,50	15,50	134.496	<b>30,49%</b>	
	SEMANA 3	83,00	29,26	21,20	15,10	134.496	<b>30,12%</b>	
	SEMANA 4	85,80	29,23	21,24	15,37	134.496	<b>30,60%</b>	
<b>AGO 13</b>	SEMANA 1	82,30	29,19	22,05	15,43	134.496	<b>29,59%</b>	<b>30,83%</b>
	SEMANA 2	68,00	29,20	21,90	16,40	134.496	<b>31,67%</b>	

	SEMANA 3	82,00	29,26	21,51	15,89	134.496	<b>31,24%</b>	
	SEMANA 4	82,00	29,15	21,18	15,44	134.496	<b>30,83%</b>	
SEP 13	SEMANA 1	78,10	29,15	20,79	15,21	134.496	<b>30,94%</b>	<b>30,63%</b>
	SEMANA 2	86,00	29,12	21,62	15,70	134.496	<b>30,71%</b>	
	SEMANA 3	83,80	29,21	22,10	16,10	134.496	<b>30,81%</b>	
	SEMANA 4	90,20	29,23	21,51	15,54	134.496	<b>30,55%</b>	
	SEMANA 5	87,10	23,48	21,61	15,41	134.496	<b>30,16%</b>	
OCT 13	SEMANA 1	73,00	29,20	22,10	15,40	134.496	<b>29,47%</b>	<b>28,68%</b>
	SEMANA 2	80,10	29,12	18,92	12,30	134.496	<b>27,49%</b>	
	SEMANA 3	90,30	29,00	21,39	14,58	134.496	<b>28,83%</b>	
	SEMANA 4	89,50	29,09	21,88	14,96	134.496	<b>28,92%</b>	
NOV 13	SEMANA 1	77,30	29,00	22,50	15,70	134.496	<b>29,51%</b>	<b>28,96%</b>
	SEMANA 2	83,40	29,09	22,70	15,80	134.496	<b>29,44%</b>	
	SEMANA 3	85,80	29,03	22,34	15,04	134.496	<b>28,47%</b>	
	SEMANA 4	88,80	29,09	22,79	15,31	134.496	<b>28,41%</b>	
DIC 13	SEMANA 1	79,90	29,12	23,61	16,00	134.496	<b>28,66%</b>	<b>30,68%</b>
	SEMANA 2	75,90	29,12	20,82	15,45	134.496	<b>31,38%</b>	
	SEMANA 3	91,00	29,06	21,28	15,45	134.496	<b>30,70%</b>	
	SEMANA 4	90,80	29,09	20,93	15,26	134.496	<b>30,83%</b>	
	SEMANA 5	77,90	29,06	22,20	16,70	134.496	<b>31,81%</b>	

**2014**

		<b>T2 (F)</b>	<b>P1 (HG)</b>	<b>FF (GPM)</b>	<b>POT (MWh)</b>	<b>LHV (BTU/gal)</b>	<b>TE (%)</b>	
<b>ENE 14</b>	SEMANA 1	73,20	29,06	22,70	17,34	134.496	<b>32,30%</b>	<b>30,86%</b>
	SEMANA 2	93,20	29,12	20,31	14,46	134.496	<b>30,11%</b>	
	SEMANA 3	85,50	29,18	20,75	15,03	134.496	<b>30,63%</b>	
	SEMANA 4	91,10	29,03	21,12	15,18	134.496	<b>30,40%</b>	
<b>FEB 14</b>	SEMANA 1	83,60	29,09	21,59	15,65	134.496	<b>30,66%</b>	<b>30,67%</b>
	SEMANA 2	88,30	29,09	20,95	15,03	134.496	<b>30,34%</b>	
	SEMANA 3	87,10	29,09	21,70	15,76	134.496	<b>30,71%</b>	
	SEMANA 4	76,90	29,10	21,70	15,90	134.496	<b>30,99%</b>	
<b>MAR 14</b>	SEMANA 1	82,60	29,09	19,84	13,98	134.496	<b>29,80%</b>	<b>30,38%</b>
	SEMANA 2	73,00	29,10	22,30	16,50	134.496	<b>31,29%</b>	
	SEMANA 3	78,40	29,06	21,65	15,74	134.496	<b>30,75%</b>	
	SEMANA 4	80,10	29,10	18,70	12,88	134.496	<b>29,13%</b>	
	SEMANA 5	87,50	30,12	22,04	16,13	134.496	<b>30,95%</b>	
<b>ABR 14</b>	SEMANA 1	87,70	29,09	21,47	15,14	134.496	<b>29,82%</b>	<b>29,92%</b>
	SEMANA 2	81,80	29,09	22,48	16,02	134.496	<b>30,14%</b>	
	SEMANA 3	87,40	29,10	21,88	15,60	134.496	<b>30,15%</b>	
	SEMANA 4	85,70	29,23	21,65	15,14	134.496	<b>29,57%</b>	
<b>MAY 14</b>	SEMANA 1	86,60	29,15	19,46	14,09	134.496	<b>30,62%</b>	<b>30,63%</b>
	SEMANA 2	77,10	29,09	21,14	15,48	134.496	<b>30,97%</b>	
	SEMANA 3	80,50	29,23	20,02	14,30	134.496	<b>30,21%</b>	
	SEMANA 4	82,60	29,15	20,60	14,96	134.496	<b>30,71%</b>	
<b>JUN 14</b>	SEMANA 1	85,20	29,06	20,84	14,96	134.496	<b>30,36%</b>	<b>31,68%</b>
	SEMANA 2	84,90	29,15	19,34	14,78	134.496	<b>32,32%</b>	
	SEMANA 3	79,00	29,18	21,78	15,97	134.496	<b>31,01%</b>	
	SEMANA 4	80,90	29,23	20,25	14,34	134.496	<b>34,62%</b>	
	SEMANA 5	85,60	29,21	20,73	14,75	134.496	<b>30,09%</b>	
<b>JUL 14</b>	SEMANA 1	81,20	29,26	20,00	14,20	134.496	<b>30,03%</b>	<b>30,61%</b>
	SEMANA 2	77,00	29,20	21,60	15,70	134.496	<b>30,74%</b>	
	SEMANA 3	72,00	29,20	21,50	15,70	134.496	<b>30,88%</b>	
	SEMANA 4	72,00	29,30	21,55	15,70	134.496	<b>30,81%</b>	
<b>AGO 14</b>	SEMANA 1	76,30	29,25	20,78	14,89	134.496	<b>30,30%</b>	<b>30,25%</b>
	SEMANA 2	78,50	29,29	21,14	15,35	134.496	<b>30,71%</b>	
	SEMANA 3	85,30	29,18	20,23	14,10	134.496	<b>29,48%</b>	
	SEMANA 4	74,30	29,26	21,36	15,42	134.496	<b>30,53%</b>	
	SEMANA 5	84,70	29,12	21,04	15,03	134.496	<b>30,21%</b>	
<b>SEP 14</b>	SEMANA 1	78,00	29,06	20,30	13,90	134.496	<b>28,96%</b>	<b>29,58%</b>
	SEMANA 2	90,00	29,10	19,29	13,20	134.496	<b>28,94%</b>	

	SEMANA 3	82,30	29,23	19,95	14,12	134.496	<b>29,93%</b>	
	SEMANA 4	76,30	29,21	21,26	15,33	134.496	<b>30,49%</b>	
OCT 14	SEMANA 1	88,80	29,21	20,84	14,96	134.496	<b>30,36%</b>	<b>31,46%</b>
	SEMANA 4	77,10	29,09	23,31	17,95	134.496	<b>32,57%</b>	
NOV 14	SEMANA 1	82,00	29,18	17,07	11,43	134.496	<b>28,32%</b>	<b>30,95%</b>
	SEMANA 2	92,50	29,15	20,20	14,90	134.496	<b>31,19%</b>	
	SEMANA 3	89,70	29,21	22,01	16,70	134.496	<b>32,09%</b>	
	SEMANA 4	74,50	29,06	21,32	16,23	134.496	<b>32,19%</b>	
DIC 14	SEMANA 1	89,20	29,06	22,50	17,26	134.496	<b>32,44%</b>	<b>32,02%</b>
	SEMANA 2	85,70	29,09	21,12	15,78	134.496	<b>31,60%</b>	

**2015**

		<b>T2 (F)</b>	<b>P1 (HG)</b>	<b>FF (GPM)</b>	<b>POT (MWh)</b>	<b>LHV (BTU/gal)</b>	<b>TE (%)</b>	
<b>ENE 15</b>	SEMANA 1	81,30	29,18	19,54	14,31	134.496	<b>30,97%</b>	<b>31,69%</b>
	SEMANA 2	82,30	23,48	23,40	18,00	134.496	<b>32,53%</b>	
	SEMANA 3	76,60	29,23	21,44	16,11	134.396	<b>31,80%</b>	
	SEMANA 4	50,90	29,40	21,40	15,90	134.396	<b>31,44%</b>	
<b>FEB 15</b>	SEMANA 1	79,50	29,21	21,89	16,52	134.396	<b>31,94%</b>	<b>30,78%</b>
	SEMANA 2	85,70	28,97	21,41	16,01	134.396	<b>31,65%</b>	
	SEMANA 3	76,70	29,23	23,26	17,83	134.496	<b>32,42%</b>	
	SEMANA 4	88,50	29,03	15,20	9,74	134.396	<b>27,12%</b>	
<b>MAR 15</b>	SEMANA 1	87,70	29,03	21,84	16,42	134.396	<b>31,82%</b>	<b>31,76%</b>
	SEMANA 2	84,70	29,06	20,14	14,73	134.396	<b>30,95%</b>	
	SEMANA 3	76,70	29,15	22,26	16,83	134.396	<b>32,00%</b>	
	SEMANA 4	72,00	29,26	23,36	17,83	134.396	<b>32,30%</b>	
	SEMANA 5	79,60	29,32	22,67	17,00	134.396	<b>31,74%</b>	
<b>ABR 15</b>	SEMANA 1	84,10	28,97	22,40	16,84	134.396	<b>31,82%</b>	<b>31,95%</b>
	SEMANA 2	84,00	29,15	19,64	14,35	134.396	<b>30,92%</b>	
	SEMANA 3	81,00	29,30	19,90	15,00	134.396	<b>30,92%</b>	
	SEMANA 4	78,10	29,23	23,03	17,48	126.514	<b>34,12%</b>	
<b>MAY 15</b>	SEMANA 1	80,10	29,06	21,35	15,85	126.514	<b>33,38%</b>	<b>32,47%</b>
	SEMANA 2	84,00	29,15	19,64	14,35	134.396	<b>30,92%</b>	
	SEMANA 3	77,20	29,26	23,24	17,63	126.514	<b>34,11%</b>	
	SEMANA 4	81,70	29,23	18,21	12,79	126.514	<b>31,58%</b>	
	SEMANA 5	73,70	29,15	18,82	13,55	126.514	<b>32,37%</b>	
<b>JUN 15</b>	SEMANA 1	86,40	29,12	21,98	16,50	126.514	<b>33,75%</b>	<b>34,74%</b>
	SEMANA 2	89,00	29,12	22,29	16,70	126.514	<b>33,68%</b>	
	SEMANA 3	73,80	29,26	22,90	17,46	126.514	<b>34,28%</b>	
	SEMANA 4	79,90	29,26	20,01	14,54	126.514	<b>37,25%</b>	
<b>JUL 15</b>	SEMANA 1	77,90	29,18	22,91	17,56	126.514	<b>34,46%</b>	<b>33,94%</b>
	SEMANA 2	74,40	29,26	20,85	15,67	126.514	<b>33,79%</b>	
	SEMANA 3	84,40	29,21	22,30	16,69	126.514	<b>33,65%</b>	
	SEMANA 4	82,90	29,15	22,21	16,73	126.514	<b>33,87%</b>	
<b>AGO 15</b>	SEMANA 1	86,00	29,00	21,26	15,86	126.514	<b>33,54%</b>	<b>33,46%</b>
	SEMANA 2	89,00	29,00	22,50	16,77	126.514	<b>33,51%</b>	
	SEMANA 3	82,80	29,23	22,34	16,58	126.514	<b>33,37%</b>	
	SEMANA 4	85,70	29,15	22,21	16,55	126.514	<b>33,50%</b>	
	SEMANA 5	87,00	29,12	21,92	16,27	126.514	<b>33,37%</b>	
<b>SEP 15</b>	SEMANA 1	84,00	29,21	20,05	14,63	126.060	<b>32,92%</b>	<b>32,80%</b>
	SEMANA 2	90,60	29,23	21,45	15,73	126.060	<b>33,09%</b>	

	SEMANA 3	81,90	29,26	21,14	15,59	126.060	<b>33,27%</b>	
	SEMANA 4	91,00	29,15	19,21	13,59	126.060	<b>31,92%</b>	
OCT 15	SEMANA 1	80,90	29,23	21,64	16,09	126.060	<b>33,55%</b>	<b>33,40%</b>
	SEMANA 2	86,80	29,18	21,62	15,96	126.060	<b>33,31%</b>	
	SEMANA 3	80,70	29,29	21,35	15,72	126.060	<b>33,22%</b>	
	SEMANA 4	80,50	29,23	22,37	16,62	126.060	<b>33,52%</b>	
NOV 15	SEMANA 1	81,00	29,23	22,95	17,17	126.060	<b>33,76%</b>	<b>33,64%</b>
	SEMANA 2	81,40	29,06	22,84	17,17	126.060	<b>33,92%</b>	
	SEMANA 3	79,60	29,23	22,82	17,19	126.060	<b>33,99%</b>	
	SEMANA 4	78,20	29,09	22,09	16,47	126.060	<b>33,64%</b>	
	SEMANA 5	87,00	29,06	21,18	15,43	126.060	<b>32,87%</b>	
DIC 15	SEMANA 1	89,09	29,09	22,17	16,31	126.060	<b>33,19%</b>	<b>32,10%</b>
	SEMANA 2	85,90	29,12	22,50	16,45	126.060	<b>32,99%</b>	
	SEMANA 3	84,00	29,10	22,00	16,00	126.060	<b>32,82%</b>	
	SEMANA 4	81,70	29,12	22,23	14,48	126.060	<b>29,39%</b>	

**2013**

		<b>T2 (F)</b>	<b>P1 (HG)</b>	<b>FF (GPM)</b>	<b>POT (MWh)</b>	<b>LHV (BTU/gal)</b>	<b>TE (%)</b>	
<b>ENE 13</b>	SEMANA 1	81,40	29,06	21,03	14,91	134.067	<b>30,08%</b>	<b>30,51%</b>
	SEMANA 2	80,20	29,09	21,10	15,85	134.067	<b>31,87%</b>	
	SEMANA 3	84,80	29,09	21,15	14,82	134.067	<b>29,73%</b>	
	SEMANA 4	91,20	29,06	21,10	15,10	134.067	<b>30,36%</b>	
<b>FEB 13</b>	SEMANA 1	85,00	29,09	21,10	16,50	134.068	<b>33,18%</b>	<b>31,79%</b>
	SEMANA 2	83,90	29,00	21,40	15,74	134.067	<b>31,20%</b>	
	SEMANA 3	84,90	29,09	20,84	15,21	134.067	<b>30,96%</b>	
	SEMANA 4	75,00	29,09	22,40	16,80	134.067	<b>31,82%</b>	
<b>MAR 13</b>	SEMANA 1	77,80	29,09	21,09	15,32	134.067	<b>30,82%</b>	<b>31,08%</b>
	SEMANA 2	78,90	29,21	21,02	15,57	134.067	<b>31,43%</b>	
	SEMANA 3	86,00	29,06	21,20	15,55	134.067	<b>31,12%</b>	
	SEMANA 4	89,50	29,00	20,89	15,25	134.067	<b>30,97%</b>	
<b>ABR 13</b>	SEMANA 1	77,10	29,21	22,22	16,60	134.067	<b>31,70%</b>	<b>31,38%</b>
	SEMANA 2	78,90	29,12	22,03	16,37	134.496	<b>31,43%</b>	
	SEMANA 3	79,00	29,21	19,88	14,55	134.496	<b>30,95%</b>	
	SEMANA 4	69,00	29,20	22,09	16,77	134.496	<b>32,11%</b>	
	SEMANA 5	90,30	29,06	20,07	14,58	134.496	<b>30,72%</b>	
<b>MAY 13</b>	SEMANA 1	79,80	29,15	22,35	16,70	134.496	<b>31,60%</b>	<b>31,34%</b>
	SEMANA 2	85,50	29,06	21,41	15,84	134.496	<b>31,29%</b>	
	SEMANA 3	82,00	29,10	19,05	13,61	134.496	<b>30,21%</b>	
	SEMANA 4	72,00	29,21	22,02	16,80	134.496	<b>32,27%</b>	
<b>JUN 13</b>	SEMANA 1	85,50	29,26	21,97	16,32	134.496	<b>31,41%</b>	<b>31,49%</b>
	SEMANA 2	78,20	29,26	22,18	16,70	134.496	<b>31,84%</b>	
	SEMANA 3	80,50	29,20	21,53	16,07	134.496	<b>31,57%</b>	
	SEMANA 4	79,60	29,20	22,91	17,09	134.496	<b>31,55%</b>	
	SEMANA 4	75,90	29,15	22,14	16,26	134.496	<b>31,06%</b>	
<b>JUL 13</b>	SEMANA 1	85,80	29,09	21,30	15,48	134.496	<b>30,74%</b>	<b>30,68%</b>
	SEMANA 2	80,50	29,26	21,49	15,72	134.496	<b>30,94%</b>	
	SEMANA 3	84,50	29,26	21,12	15,32	134.496	<b>30,68%</b>	
	SEMANA 4	87,10	29,23	21,27	15,28	134.496	<b>30,38%</b>	
<b>AGO 13</b>	SEMANA 1	85,52	29,19	22,01	15,20	134.496	<b>29,21%</b>	<b>30,27%</b>
	SEMANA 2	69,80	29,20	21,70	15,99	134.496	<b>31,16%</b>	
	SEMANA 3	83,00	29,26	21,37	15,34	134.496	<b>30,36%</b>	
	SEMANA 4	83,00	29,15	21,06	15,12	134.496	<b>30,36%</b>	
<b>SEP 13</b>	SEMANA 1	79,90	29,15	21,06	15,25	134.496	<b>30,62%</b>	<b>30,19%</b>
	SEMANA 2	95,80	29,12	21,06	15,00	134.496	<b>30,12%</b>	
	SEMANA 3	93,60	29,21	21,58	15,47	134.496	<b>30,32%</b>	

	SEMANA 4	99,40	29,23	20,82	14,63	134.496	<b>29,72%</b>	
	SEMANA 5	95,90	23,48	20,84	14,86	134.496	<b>30,16%</b>	
OCT 13	SEMANA 1	81,00	29,20	21,60	15,70	134.496	<b>30,74%</b>	29,69%
	SEMANA 2	88,00	29,12	17,99	12,20	134.496	<b>28,68%</b>	
	SEMANA 3	98,60	29,00	20,81	14,62	134.496	<b>29,71%</b>	
	SEMANA 4	98,60	29,09	20,77	14,55	134.496	<b>29,63%</b>	
NOV 13	SEMANA 1	85,70	29,00	21,40	15,30	134.496	<b>30,24%</b>	30,05%
	SEMANA 2	92,10	29,09	21,33	15,15	134.496	<b>30,04%</b>	
	SEMANA 3	94,20	29,03	20,92	14,80	134.496	<b>29,92%</b>	
	SEMANA 4	98,60	29,09	20,93	14,85	134.496	<b>30,01%</b>	
DIC 13	SEMANA 1	88,30	29,12	22,15	16,03	134.496	<b>30,61%</b>	30,86%
	SEMANA 2	84,30	29,12	21,52	15,79	134.496	<b>31,03%</b>	
	SEMANA 3	99,90	29,06	22,14	16,15	134.496	<b>30,85%</b>	
	SEMANA 4	97,70	29,09	21,08	15,20	134.496	<b>30,49%</b>	
	SEMANA 5	85,00	29,06	23,10	17,10	134.496	<b>31,31%</b>	

**2014**

		<b>T2 (F)</b>	<b>P1 (HG)</b>	<b>FF (GPM)</b>	<b>POT (MWh)</b>	<b>LHV (BTU/gal)</b>	<b>TE (%)</b>	
<b>ENE 14</b>	SEMANA 1	80,00	29,06	23,40	17,80	134.496	<b>32,17%</b>	<b>31,00%</b>
	SEMANA 2	80,00	29,12	20,73	15,00	134.496	<b>30,60%</b>	
	SEMANA 3	93,20	29,18	21,10	15,53	134.496	<b>31,13%</b>	
	SEMANA 4	98,90	29,03	21,29	15,15	134.496	<b>30,09%</b>	
<b>FEB 14</b>	SEMANA 1	92,20	29,09	21,89	15,80	134.496	<b>30,52%</b>	<b>30,57%</b>
	SEMANA 2	96,10	29,09	21,40	15,30	134.496	<b>30,24%</b>	
	SEMANA 3	95,80	29,09	21,72	15,75	134.496	<b>30,67%</b>	
	SEMANA 4	84,40	29,10	21,80	15,90	134.496	<b>30,84%</b>	
<b>MAR 14</b>	SEMANA 1	91,20	29,09	20,11	14,17	134.496	<b>29,80%</b>	<b>29,94%</b>
	SEMANA 2	81,20	29,10	21,80	15,70	134.496	<b>30,46%</b>	
	SEMANA 3	86,00	29,06	22,13	16,02	134.496	<b>30,61%</b>	
	SEMANA 4	87,60	29,10	18,42	12,66	134.496	<b>29,07%</b>	
	SEMANA 5	86,10	29,12	21,07	14,82	134.496	<b>29,75%</b>	
<b>ABR 14</b>	SEMANA 1	88,00	29,09	21,21	15,04	134.496	<b>29,99%</b>	<b>30,14%</b>
	SEMANA 2	82,40	29,09	21,60	15,50	134.496	<b>30,35%</b>	
	SEMANA 3	85,80	29,10	21,20	15,20	134.496	<b>30,32%</b>	
	SEMANA 4	84,80	29,23	20,96	14,82	134.496	<b>29,90%</b>	
<b>MAY 14</b>	SEMANA 1	88,10	29,15	19,71	13,58	134.496	<b>29,14%</b>	<b>30,25%</b>
	SEMANA 2	77,50	29,09	21,68	15,90	134.496	<b>31,02%</b>	
	SEMANA 3	81,00	29,23	20,50	14,64	134.496	<b>30,20%</b>	
	SEMANA 4	82,40	29,15	21,30	15,43	134.496	<b>30,64%</b>	
<b>JUN 14</b>	SEMANA 1	83,30	29,06	22,28	16,24	134.496	<b>30,83%</b>	<b>30,89%</b>
	SEMANA 2	84,70	29,15	20,52	14,71	134.496	<b>30,32%</b>	
	SEMANA 3	79,20	29,18	22,93	17,04	134.496	<b>31,43%</b>	
	SEMANA 4	83,90	29,23	21,62	15,81	134.496	<b>30,93%</b>	
	SEMANA 4	86,70	29,21	21,97	16,07	134.496	<b>30,93%</b>	
<b>JUL 14</b>	SEMANA 1	79,70	29,26	21,02	15,20	134.496	<b>30,58%</b>	<b>31,15%</b>
	SEMANA 2	77,00	29,20	22,50	16,60	134.496	<b>31,20%</b>	
	SEMANA 3	72,60	29,20	23,90	17,80	134.496	<b>31,50%</b>	
	SEMANA 4	72,60	29,20	23,91	17,70	134.496	<b>31,31%</b>	
<b>AGO 14</b>	SEMANA 1	80,20	29,26	22,21	16,43	134.496	<b>31,28%</b>	<b>31,20%</b>
	SEMANA 2	78,60	29,29	21,89	15,99	134.496	<b>30,89%</b>	
	SEMANA 3	83,30	29,18	20,98	15,42	134.496	<b>31,08%</b>	
	SEMANA 4	75,20	29,26	22,13	16,55	134.496	<b>31,63%</b>	
	SEMANA 5	84,80	29,12	21,57	15,86	134.496	<b>31,10%</b>	
<b>SEP 14</b>	SEMANA 1	77,70	29,06	21,70	15,00	134.496	<b>29,23%</b>	<b>30,04%</b>
	SEMANA 2	89,00	29,10	20,20	14,30	134.496	<b>29,94%</b>	

	SEMANA 3	82,30	29,23	19,93	14,04	134.496	<b>29,79%</b>	
	SEMANA 4	78,00	29,21	22,13	16,33	134.496	<b>31,21%</b>	
OCT 14	SEMANA 1	87,90	29,21	19,52	13,48	134.496	<b>29,20%</b>	<b>31,14%</b>
	SEMANA 3	80,00	29,03	22,94	17,90	134.496	<b>33,00%</b>	
	SEMANA 4	78,50	29,09	23,19	17,12	134.496	<b>31,22%</b>	
NOV 14	SEMANA 1	82,00	29,18	17,90	12,77	134.496	<b>30,17%</b>	<b>29,92%</b>
	SEMANA 2	93,00	29,15	19,95	13,84	134.496	<b>29,34%</b>	
	SEMANA 3	91,40	29,21	21,50	15,34	134.496	<b>30,17%</b>	
	SEMANA 4	75,50	29,06	20,17	14,31	134.496	<b>30,00%</b>	
DIC 14	SEMANA 1	88,80	29,06	21,87	15,87	134.496	<b>30,69%</b>	<b>30,24%</b>
	SEMANA 2	86,80	29,09	20,85	14,69	134.496	<b>29,80%</b>	

**2015**

		<b>T2 (F)</b>	<b>P1 (HG)</b>	<b>FF (GPM)</b>	<b>POT (MWh)</b>	<b>LHV (BTU/gal)</b>	<b>TE (%)</b>	
<b>ENE 15</b>	SEMANA 1	81,50	29,18	19,11	13,10	134.496	<b>28,99%</b>	<b>29,91%</b>
	SEMANA 2	83,60	23,40	22,60	16,40	134.496	<b>30,69%</b>	
	SEMANA 3	77,40	29,23	20,75	14,62	134.496	<b>29,80%</b>	
	SEMANA 4	81,70	29,40	21,30	15,20	134.496	<b>30,18%</b>	
<b>FEB 15</b>	SEMANA 1	79,50	29,21	21,60	15,86	134.496	<b>31,05%</b>	<b>29,57%</b>
	SEMANA 2	86,00	28,97	21,14	15,23	134.496	<b>30,47%</b>	
	SEMANA 3	77,80	29,23	22,80	16,73	134.496	<b>31,03%</b>	
	SEMANA 4	88,20	29,03	14,55	8,85	134.496	<b>25,72%</b>	
<b>MAR 15</b>	SEMANA 1	86,90	29,03	21,91	15,73	134.496	<b>30,36%</b>	<b>30,00%</b>
	SEMANA 2	83,20	29,06	20,13	13,88	134.396	<b>29,18%</b>	
	SEMANA 3	77,20	29,15	21,78	15,49	134.396	<b>30,10%</b>	
	SEMANA 4	72,30	29,26	23,74	17,00	134.396	<b>30,31%</b>	
	SEMANA 5	79,60	29,32	23,02	16,34	134.396	<b>30,04%</b>	
<b>ABR 15</b>	SEMANA 1	83,90	28,97	22,32	15,52	134.396	<b>29,43%</b>	<b>29,33%</b>
	SEMANA 2	86,00	29,15	19,00	12,60	134.396	<b>28,07%</b>	
	SEMANA 3	81,30	29,30	19,50	14,90	134.396	<b>27,37%</b>	
	SEMANA 4	78,20	29,23	22,00	15,89	126.514	<b>32,47%</b>	
<b>MAY 15</b>	SEMANA 1	84,90	29,06	21,18	14,77	126.514	<b>31,35%</b>	<b>31,17%</b>
	SEMANA 2	86,00	29,15	19,00	12,60	126514,00	<b>29,81%</b>	
	SEMANA 3	81,20	29,26	23,27	16,97	126.514	<b>32,79%</b>	
	SEMANA 4	82,10	29,23	18,83	12,94	126.514	<b>30,90%</b>	
	SEMANA 5	74,60	29,15	19,60	13,51	126.514	<b>30,99%</b>	
<b>JUN 15</b>	SEMANA 1	86,60	29,12	22,70	16,30	126.514	<b>32,28%</b>	<b>32,15%</b>
	SEMANA 2	87,00	29,12	22,37	16,02	126.514	<b>32,20%</b>	
	SEMANA 3	73,90	29,26	23,33	16,97	126.514	<b>32,70%</b>	
	SEMANA 4	80,00	29,26	20,23	14,14	126.514	<b>31,42%</b>	
<b>JUL 15</b>	SEMANA 1	78,00	29,18	23,47	17,14	126.514	<b>32,83%</b>	<b>31,96%</b>
	SEMANA 2	74,30	29,26	20,98	14,81	126.514	<b>31,74%</b>	
	SEMANA 3	84,90	29,21	23,12	16,33	126.514	<b>31,76%</b>	
	SEMANA 4	83,10	29,15	22,73	15,94	126.514	<b>31,53%</b>	
<b>AGO 15</b>	SEMANA 1	83,30	29,12	21,47	14,83	126.514	<b>31,06%</b>	<b>31,91%</b>
	SEMANA 2	88,00	29,12	23,10	16,67	126.514	<b>32,44%</b>	
	SEMANA 3	83,30	29,23	22,73	16,24	126.514	<b>32,12%</b>	
	SEMANA 4	84,80	29,15	22,78	16,22	126.514	<b>32,01%</b>	
<b>SEP 15</b>	SEMANA 1	84,00	29,21	20,30	13,93	126.060	<b>30,96%</b>	<b>30,87%</b>
	SEMANA 2	91,60	29,23	21,76	15,20	126.060	<b>31,52%</b>	
	SEMANA 3	82,20	29,26	20,91	14,47	126.060	<b>31,22%</b>	

	SEMANA 4	92,50	29,12	19,12	12,62	126.060	<b>29,78%</b>	
OCT 15	SEMANA 1	81,60	29,23	21,71	15,16	126.060	<b>31,51%</b>	<b>32,13%</b>
	SEMANA 2	85,20	29,17	21,54	14,88	126.060	<b>31,17%</b>	
	SEMANA 3	80,80	29,29	21,31	14,87	126.060	<b>31,48%</b>	
	SEMANA 4	80,40	29,23	22,87	16,19	126.060	<b>34,36%</b>	
NOV 15	SEMANA 1	80,00	29,23	23,06	16,52	126.060	<b>35,08%</b>	<b>34,23%</b>
	SEMANA 2	81,30	29,06	23,08	16,44	126.060	<b>35,07%</b>	
	SEMANA 3	78,70	29,23	23,47	16,75	126.060	<b>35,61%</b>	
	SEMANA 4	78,70	29,09	22,39	15,94	126.060	<b>32,12%</b>	
	SEMANA 5	84,00	29,06	22,45	16,55	126.060	<b>33,26%</b>	
DIC 15	SEMANA 1	86,60	29,06	23,29	17,26	126.060	<b>33,44%</b>	<b>33,28%</b>
	SEMANA 2	84,10	29,09	24,13	18,01	126.060	<b>33,68%</b>	
	SEMANA 3	81,00	29,10	23,00	16,50	126.060	<b>32,37%</b>	
	SEMANA 4	81,00	29,12	22,81	17,01	126.060	<b>33,65%</b>	

**2013**

		<b>T2 (F)</b>	<b>P1 (HG)</b>	<b>FF (SCF/Hr)</b>	<b>POT (MWh)</b>	<b>LHV (BTU/ft3)</b>	<b>TE (%)</b>	
<b>ENE 13</b>	SEMANA 1	75,00	29,50	157.152	18,20	871	<b>45,39%</b>	<b>43,20%</b>
	SEMANA 2	77,00	29,50	161.232	17,20	871	<b>41,81%</b>	
	SEMANA 3	76,00	29,50	155.223	17,00	871	<b>42,92%</b>	
	SEMANA 4	85,00	29,50	155.209	16,90	871	<b>42,68%</b>	
<b>FEB 13</b>	SEMANA 1	84,00	29,50	147.474	16,40	871	<b>43,58%</b>	<b>43,11%</b>
	SEMANA 2	75,00	29,50	160.932	18,00	871	<b>43,84%</b>	
	SEMANA 3	78,00	29,50	154.836	17,50	871	<b>44,30%</b>	
	SEMANA 4	75,00	29,50	158.829	16,50	871	<b>40,72%</b>	
<b>MAR 13</b>	SEMANA 1	80,00	29,50	154.434	17,80	871	<b>45,16%</b>	<b>43,79%</b>
	SEMANA 2	74,00	29,50	165.270	18,10	871	<b>42,91%</b>	
	SEMANA 3	76,00	29,50	163.812	18,10	871	<b>43,29%</b>	
	SEMANA 4	76,00	29,50	165.876	18,40	871	<b>43,46%</b>	
	SEMANA 5	86,00	29,50	159.810	18,00	871	<b>44,13%</b>	
<b>ABR 13</b>	SEMANA 1	81,00	29,50	158.985	18,00	871	<b>44,36%</b>	<b>44,29%</b>
	SEMANA 2	73,00	29,50	166.310	18,10	871	<b>42,64%</b>	
	SEMANA 3	77,00	29,50	160.818	18,00	871	<b>43,86%</b>	
	SEMANA 4	81,00	29,50	159.852	18,40	871	<b>45,10%</b>	
	SEMANA 5	93,00	29,50	148.962	17,30	871	<b>45,50%</b>	
<b>MAY 13</b>	SEMANA 1	78,00	29,50	162.235	18,50	884	<b>44,02%</b>	<b>42,81%</b>
	SEMANA 2	80,00	29,50	163.590	18,30	884	<b>43,19%</b>	
	SEMANA 3	80,00	29,50	173.778	18,40	884	<b>40,88%</b>	
	SEMANA 4	75,00	29,50	166.404	18,60	884	<b>43,15%</b>	
<b>JUN 13</b>	SEMANA 1	77,00	29,50	167.388	18,70	919	<b>41,47%</b>	<b>41,90%</b>
	SEMANA 2	79,00	29,50	158.669	17,90	919	<b>41,88%</b>	
	SEMANA 3	74,00	29,50	162.588	18,50	919	<b>42,24%</b>	
	SEMANA 4	84,00	29,50	163.500	18,50	919	<b>42,01%</b>	
<b>JUL 13</b>	SEMANA 1	84,00	29,50	164.701	18,50	924	<b>41,51%</b>	<b>41,52%</b>
	SEMANA 2	75,00	29,50	165.264	18,80	924	<b>42,04%</b>	
	SEMANA 3	75,00	29,50	168.264	18,70	924	<b>41,07%</b>	
	SEMANA 4	77,00	29,50	168.510	18,50	924	<b>40,57%</b>	
	SEMANA 5	81,00	29,50	162.060	18,60	924	<b>42,41%</b>	
<b>AGO 13</b>	SEMANA 1	85,00	29,50	160.470	18,40	816	<b>47,94%</b>	<b>47,05%</b>
	SEMANA 2	73,00	29,50	175.848	18,70	816	<b>44,46%</b>	
	SEMANA 3	80,00	29,50	165.834	18,90	816	<b>47,65%</b>	
	SEMANA 4	85,00	29,50	160.584	18,50	816	<b>48,16%</b>	
<b>SEP 13</b>	SEMANA 1	85,00	29,50	175.580	18,50	981	<b>36,65%</b>	<b>37,29%</b>
	SEMANA 2	73,00	29,50	175.848	18,70	981	<b>36,99%</b>	

	SEMANA 3	74,00	29,50	171.768	18,10	981	<b>36,65%</b>	
	SEMANA 4	77,00	29,50	167.880	18,30	981	<b>37,92%</b>	
	SEMANA 5	85,00	29,50	166.521	18,30	981	<b>38,23%</b>	
OCT 13	SEMANA 2	86,00	29,50	172.917	18,20	842	<b>42,68%</b>	<b>44,58%</b>
	SEMANA 3	75,00	29,50	167.299	18,70	842	<b>45,32%</b>	
	SEMANA 4	84,00	29,50	164.004	18,50	842	<b>45,74%</b>	
NOV 13	SEMANA 2	82,00	29,50	170.568	17,80	842	<b>42,31%</b>	<b>40,24%</b>
	SEMANA 3	73,00	29,50	162.516	16,50	842	<b>41,17%</b>	
	SEMANA 4	87,00	29,50	165.502	15,20	842	<b>37,24%</b>	
DIC 13	SEMANA 2	79,00	29,50	173.352	19,00	842	<b>44,42%</b>	<b>45,39%</b>
	SEMANA 3	76,00	29,50	166.058	18,70	842	<b>45,64%</b>	
	SEMANA 4	77,00	29,50	166.176	18,70	842	<b>45,63%</b>	
	SEMANA 5	77,00	29,50	166.176	18,80	842	<b>45,85%</b>	

**2014**

		<b>T2 (F)</b>	<b>P1 (HG)</b>	<b>FF (SCF/Hr)</b>	<b>POT (MWh)</b>	<b>LHV (BTU/ft3)</b>	<b>TE (%)</b>	
<b>ENE 14</b>	SEMANA 1	75,40	29,50	174.780	18,80	842	<b>43,60%</b>	<b>44,35%</b>
	SEMANA 2	75,00	29,50	170.358	18,90	842	<b>44,97%</b>	
	SEMANA 3	77,00	29,50	175.275	18,50	842	<b>42,78%</b>	
	SEMANA 4	81,00	29,50	166.342	18,90	842	<b>46,05%</b>	
<b>FEB 14</b>	SEMANA 1	84,00	29,50	170.376	18,70	842	<b>44,49%</b>	<b>44,02%</b>
	SEMANA 2	85,00	29,50	171.678	18,70	842	<b>44,15%</b>	
	SEMANA 3	82,00	29,50	173.568	18,80	842	<b>43,90%</b>	
	SEMANA 4	79,00	29,50	172.167	18,50	842	<b>43,55%</b>	
<b>MAR 14</b>	SEMANA 1	81,00	29,50	173.460	18,80	842	<b>43,93%</b>	<b>43,82%</b>
	SEMANA 2	75,00	29,50	170.628	18,50	842	<b>43,95%</b>	
	SEMANA 4	78,00	29,50	170.123	18,30	842	<b>43,60%</b>	
<b>ABR 14</b>	SEMANA 1	88,00	29,50	167.388	18,60	836	<b>45,35%</b>	<b>45,31%</b>
	SEMANA 2	72,00	29,50	170.803	19,00	836	<b>45,41%</b>	
	SEMANA 3	82,00	29,50	169.560	18,60	836	<b>44,78%</b>	
	SEMANA 4	77,00	29,50	164.346	18,40	836	<b>45,70%</b>	
<b>MAY 14</b>	SEMANA 1	77,00	29,50	175.247	18,50	821	<b>43,88%</b>	<b>44,60%</b>
	SEMANA 2	76,00	29,50	174.522	18,80	821	<b>44,77%</b>	
	SEMANA 3	75,00	29,50	175.139	19,00	821	<b>45,09%</b>	
	SEMANA 4	73,20	29,50	171.174	18,40	821	<b>44,68%</b>	
<b>JUN 14</b>	SEMANA 1	76,00	29,50	174.625	18,80	902	<b>40,73%</b>	<b>39,70%</b>
	SEMANA 2	71,00	29,50	175.255	17,80	902	<b>38,42%</b>	
	SEMANA 3	78,00	29,50	181.008	19,00	902	<b>39,71%</b>	
	SEMANA 4	77,00	29,50	175.254	18,50	902	<b>39,94%</b>	
<b>JUL 14</b>	SEMANA 1	77,00	29,50	175.255	17,80	872	<b>39,75%</b>	<b>38,85%</b>
	SEMANA 2	77,00	29,50	175.255	17,00	872	<b>37,96%</b>	
	SEMANA 3	71,00	29,50	188.328	19,40	872	<b>40,32%</b>	
	SEMANA 4	72,00	29,50	188.568	18,00	872	<b>37,36%</b>	
<b>AGO 14</b>	SEMANA 1	71,00	29,50	167.264	17,70	795	<b>45,44%</b>	<b>44,97%</b>
	SEMANA 2	76,00	29,50	190.750	19,90	795	<b>44,78%</b>	
	SEMANA 3	79,00	29,50	177.732	19,00	795	<b>45,89%</b>	
	SEMANA 4	79,00	29,50	186.328	19,00	795	<b>43,77%</b>	
<b>SEP 14</b>	SEMANA 1	78,00	29,50	190.584	18,50	872	<b>37,99%</b>	<b>40,34%</b>
	SEMANA 2	70,00	29,50	161.634	16,00	872	<b>38,74%</b>	
	SEMANA 3	72,00	29,50	175.338	18,80	872	<b>41,96%</b>	
	SEMANA 4	78,00	29,50	171.006	18,70	872	<b>42,80%</b>	
	SEMANA 5	79,00	29,50	174.335	17,90	872	<b>40,18%</b>	
<b>OCT</b>	SEMANA 1	77,00	29,50	174.335	17,00	872	<b>38,55%</b>	<b>39,34%</b>

14	SEMANA 2	77,00	29,50	181.056	19,20	863	<b>41,92%</b>	
	SEMANA 3	76,00	29,50	182.338	18,20	863	<b>39,46%</b>	
	SEMANA 4	78,00	29,50	184.789	17,50	863	<b>37,45%</b>	
NOV 14	SEMANA 1	75,00	29,50	184.789	17,50	863	<b>37,45%</b>	<b>39,60%</b>
	SEMANA 2	78,00	29,50	171.584	17,50	834	<b>41,73%</b>	
	SEMANA 3	70,00	29,50	180.651	17,50	834	<b>39,65%</b>	
	SEMANA 4	75,00	29,50	175.874	17,00	834	<b>39,55%</b>	
DIC 14	SEMANA 1	85,00	29,50	155.496	16,20	839	<b>42,36%</b>	<b>42,94%</b>
	SEMANA 2	88,00	29,50	162.770	17,70	839	<b>44,23%</b>	
	SEMANA 3	75,00	29,50	171.030	17,60	839	<b>41,86%</b>	
	SEMANA 4	79,00	29,50	172.176	17,50	839	<b>41,34%</b>	
	SEMANA 5	88,00	29,50	160.587	17,50	839	<b>44,33%</b>	

**2015**

		<b>T2 (F)</b>	<b>P1 (HG)</b>	<b>FF (SCF/Hr)</b>	<b>POT (MWh)</b>	<b>LHV (BTU/ft3)</b>	<b>TE (%)</b>	
<b>ENE 15</b>	SEMANA 1	70,90	29,50	173.292	16,90	839	<b>39,67%</b>	<b>39,80%</b>
	SEMANA 2	77,00	29,50	176.748	17,70	839	<b>40,73%</b>	
	SEMANA 3	71,00	29,50	180.157	17,90	839	<b>40,42%</b>	
	SEMANA 4	75,00	29,50	180.100	17,00	839	<b>38,40%</b>	
<b>FEB 15</b>	SEMANA 1	76,00	29,40	168.375	17,50	839	<b>42,28%</b>	<b>39,57%</b>
	SEMANA 2	77,00	29,40	172.699	16,20	839	<b>38,16%</b>	
	SEMANA 3	72,00	29,40	172.176	16,70	839	<b>39,45%</b>	
	SEMANA 4	81,00	29,40	171.620	16,20	839	<b>38,40%</b>	
<b>MAR 15</b>	SEMANA 1	72,00	29,40	184.614	18,10	839	<b>39,88%</b>	<b>39,17%</b>
	SEMANA 2	74,00	29,40	174.792	17,40	839	<b>40,49%</b>	
	SEMANA 3	73,00	29,50	175.000	17,00	839	<b>39,51%</b>	
	SEMANA 4	74,00	29,40	171.408	15,50	839	<b>36,78%</b>	
<b>ABR 15</b>	SEMANA 1	75,00	29,40	170.000	17,00	839	<b>40,68%</b>	<b>40,22%</b>
	SEMANA 2	79,00	29,40	176.088	18,00	839	<b>41,58%</b>	
	SEMANA 3	74,00	29,40	150.184	14,80	839	<b>40,08%</b>	
	SEMANA 4	74,00	29,40	170.016	16,10	839	<b>38,52%</b>	
<b>MAY 15</b>	SEMANA 1	76,00	29,40	170.000	17,00	839	<b>40,68%</b>	<b>41,26%</b>
	SEMANA 2	78,00	29,50	187.375	17,50	770	<b>41,38%</b>	
	SEMANA 3	73,00	29,40	167.580	16,00	770	<b>42,32%</b>	
	SEMANA 4	73,00	29,40	163.530	15,00	770	<b>40,65%</b>	
<b>JUN 15</b>	SEMANA 1	78,00	29,50	176.088	16,80	770	<b>42,29%</b>	<b>41,96%</b>
	SEMANA 2	73,00	29,50	164.190	15,60	770	<b>42,11%</b>	
	SEMANA 3	73,00	29,50	170.000	17,00	770	<b>44,32%</b>	
	SEMANA 4	71,00	29,50	171.000	15,10	770	<b>39,14%</b>	
<b>JUL 15</b>	SEMANA 1	76,00	29,50	175.332	16,40	770	<b>41,46%</b>	<b>42,01%</b>
	SEMANA 2	73,00	29,50	182.988	17,10	770	<b>41,42%</b>	
	SEMANA 3	72,00	29,50	176.088	16,60	770	<b>41,78%</b>	
	SEMANA 4	82,00	29,50	163.398	16,00	770	<b>43,40%</b>	
<b>AGO 15</b>	SEMANA 1	72,00	29,40	170.000	17,00	770	<b>44,32%</b>	<b>43,43%</b>
	SEMANA 2	73,00	29,40	170.000	17,00	770	<b>44,32%</b>	
	SEMANA 3	74,00	29,50	183.858	17,30	770	<b>41,70%</b>	
	SEMANA 4	74,00	29,50	176.736	17,30	770	<b>43,38%</b>	
<b>SEP 15</b>	SEMANA 1	76,00	29,40	170.000	17,00	770	<b>44,32%</b>	<b>38,66%</b>
	SEMANA 2	78,00	29,50	158.238	15,50	770	<b>43,41%</b>	
	SEMANA 3	84,20	29,50	161.446	16,00	930	<b>36,37%</b>	
	SEMANA 4	74,00	29,50	176.088	16,60	930	<b>34,59%</b>	
	SEMANA 5	74,00	29,50	176.088	16,60	930	<b>34,59%</b>	

OCT 15	SEMANA 1	76,00	29,40	170.000	17,00	930	<b>36,70%</b>	<b>35,75%</b>
	SEMANA 2	77,00	29,50	174.342	16,60	930	<b>34,94%</b>	
	SEMANA 3	75,20	29,50	174.342	15,90	930	<b>33,47%</b>	
	SEMANA 4	85,00	29,50	178.140	18,40	930	<b>37,90%</b>	
NOV 15	SEMANA 1	83,00	29,50	165.132	16,50	930	<b>36,67%</b>	<b>36,43%</b>
	SEMANA 2	75,00	29,50	161.796	15,60	930	<b>35,38%</b>	
	SEMANA 3	70,00	29,50	161.796	16,80	930	<b>38,10%</b>	
	SEMANA 4	78,00	29,50	166.032	16,10	930	<b>35,58%</b>	
DIC 15	SEMANA 1	81,90	29,50	169.752	16,50	930	<b>35,67%</b>	<b>39,34%</b>
	SEMANA 2	75,00	29,50	169.752	15,90	930	<b>34,37%</b>	
	SEMANA 3	76,00	29,40	170.000	17,00	930	<b>36,70%</b>	
	SEMANA 4	80,00	29,50	169.632	18,00	771	<b>46,96%</b>	

## 2013

	TR-1170A	TR-1170B	TR-2170B
<b>ENE</b>	30,85%	30,51%	43,20%
<b>FEB</b>	31,49%	31,79%	43,11%
<b>MAR</b>	31,63%	31,08%	43,79%
<b>ABR</b>	31,60%	31,38%	44,29%
<b>MAY</b>	31,42%	31,34%	42,81%
<b>JUN</b>	32,19%	31,49%	41,90%
<b>JUL</b>	30,49%	30,68%	41,52%
<b>AGO</b>	30,83%	30,27%	47,05%
<b>SEP</b>	30,63%	30,19%	37,29%
<b>OCT</b>	28,68%	29,69%	44,58%
<b>NOV</b>	28,96%	30,05%	40,24%
<b>DIC</b>	30,68%	30,86%	45,39%

## 2014

	TR-1170A	TR-1170B	TR-2170B
<b>ENE</b>	30,86%	31,00%	44,35%
<b>FEB</b>	30,67%	30,57%	44,02%
<b>MAR</b>	30,38%	29,94%	44,04%
<b>ABR</b>	29,92%	30,14%	45,31%
<b>MAY</b>	30,63%	30,25%	44,60%
<b>JUN</b>	31,68%	30,89%	39,70%
<b>JUL</b>	30,61%	31,15%	39,14%
<b>AGO</b>	30,25%	31,20%	44,97%
<b>SEP</b>	29,58%	30,04%	40,34%
<b>OCT</b>	31,46%	31,14%	39,61%
<b>NOV</b>	30,95%	29,92%	40,31%
<b>DIC</b>	32,02%	30,24%	42,94%

---

**2015**

	<b>TR-1170A</b>	<b>TR-1170B</b>	<b>TR-2170B</b>
<b>ENE</b>	31,69%	29,91%	40,27%
<b>FEB</b>	30,78%	29,57%	39,57%
<b>MAR</b>	31,76%	30,00%	39,05%
<b>ABR</b>	31,95%	29,33%	40,06%
<b>MAY</b>	32,86%	31,51%	41,45%
<b>JUN</b>	34,74%	32,15%	41,18%
<b>JUL</b>	33,94%	31,96%	42,01%
<b>AGO</b>	33,46%	31,91%	42,54%
<b>SEP</b>	32,80%	30,87%	42,73%
<b>OCT</b>	33,40%	32,13%	42,80%
<b>NOV</b>	33,64%	34,23%	44,00%
<b>DIC</b>	31,86%	33,59%	44,24%

<b>ANEXO N° 5</b>	<b>ACTIVIDADES IMPORTANTES TURBINAS TR-1170A y TR-1170B</b>	<b>Página 1 de 4</b>
-------------------	---	----------------------

---

## **AÑO 2013**

### **ENERO**

- TR-1170A: Cambio de controlador ATLAS PC y válvula de combustible FCV-1202.
- TR-1170B: Mantenimiento anual eléctrico, instrumentos y mecánico.
- TR-1170A: Revisión de los VSV, cambio de la válvula de combustible FCV-1202, calibración del sensor TE-1815 y revisión de la línea de retorno de combustible.

### **FEBRERO**

- TR-1170A: Mantenimiento semestral mecánico e instrumentos.
- TR-1170B: Mantenimiento anual Mecánico, Instrumentos.

### **MARZO**

- TR-1170A: Mantenimiento bimensual.

### **ABRIL**

- TR-1170B: Mantenimiento bimensual.
- TR-1170A: Mantenimiento bimensual.

### **JUNIO**

- TR-1170B: Cambio de válvula de combustible FCV-1202.

### **JULIO**

- TR-1170B: Mantenimiento Bimensual/cambio de inyectores/ instalación de filtros de aire 1era etapa.
- TR-1170B: Cambio de manifold de combustible y 30 inyectores.
- TR-1170B: Cambio de válvula de combustible FCV-1202.
- TR-1170B: Cambio de solenoides SOV-1207/11/12.
- TR-1170A: Mantenimiento anual.

### **AGOSTO**

- TR-1170B: Mantenimiento de la válvula FCV-1202.
- TR-1170A: Cambio y calibración FCV-1202.

<b>ANEXO N° 5</b>	<b>ACTIVIDADES IMPORTANTES TURBINAS TR-1170A y TR-1170B</b>	<b>Página 2 de 4</b>
-------------------	---	----------------------

---

### **SEPTIEMBRE**

- TR-1170A: Cambio de embolo de la válvula de control FCV-1202, tarjetas del regulador de voltaje y tramo de cable de las señales de excitatriz.
- TR-1170B: Cambio de válvula de control FCV-1202, sistema de control ATLAS.
- TR-1170B: Mantenimiento Semestral.

### **OCTUBRE**

- TR-1170A: Cambio de 11 inyectores usados.

### **DICIEMBRE**

- TR-1170B.- Cambio de controlador de alavés variables, lavado off line, revisión de la línea del CDP.
- TR-1170A.- Mantenimiento bimensual, cambio de 30 inyectores, reparación de tubos J, calibración de los VSV.
- TR-1170A.- Ajuste fino de las VSV.
- TR-1170B: Mantenimiento bimensual mecánico-instrumentos.
- TR-1170A: Cambio de tubos J.
- TR-1170B: Cambio de filtros de aire primera etapa y filtros coalescer.

## **AÑO 2014**

### **ENERO**

- TR-1170A/B: Debido a problemas de variación de la válvula de combustible se procede a realizar una parada programada para realizar la limpieza de dicha válvulas.
- TR-1170B: Revisión y calibración de la válvula de combustible FCV-1202, cambio de PCV-12004 diésel

### **MARZO**

- TR-1170B: Mantenimiento anual Mecánico, Instrumentos y Eléctrico

### **ABRIL**

- TR-1170-A: Cambio 16 filtros de aire/ Mantenimiento de válvula control combustible FCV-1202.

<b>ANEXO N° 5</b>	<b>ACTIVIDADES IMPORTANTES TURBINAS TR-1170A y TR-1170B</b>	<b>Página 3 de 4</b>
-------------------	---	----------------------

---

- TR-1170B: Mantenimiento anual Mecánico, Instrumentos y Eléctrico segunda parte.
- TR-1170B: Cambio del control de alabes directrices.

#### **MAYO**

- TR-1170A: Mantenimiento semestral Mecánico, Instrumentos y Eléctrico.
- TR-1170B: Cambio del control de alabes variables (VSV's) por alta velocidad de la GG y pérdida de potencia.
- TR-1170A: Cambio de controlador de los VSV's.
- TR-1170B: Revisión y calibración del control de los VSV's.

#### **JULIO**

- TR-1170B: Mantenimiento trimestral.
- TR-1170A: Mantenimiento Trimestral mecánico, instrumentos y eléctrico.
- TR-1170B: Cambio de la válvula de combustible FCV-1202.

#### **OCTUBRE**

- TR-1170B: Cambio y calibración de control de alabes directrices.
- TR-1170A: Cambio de la Generador de Gases y Turbina de Potencia.
- TR-1170A: Cambio de filtros de aire primera etapa.
- TR-1170B: Mantenimiento trimestral Mecánico e Instrumentos, reparación de fuga de aceite del generador.

### **AÑO 2015**

#### **ENERO**

- TR-1170A: Mantenimiento trimestral.
- TR-1170B: Mantenimiento Semestral Mecánico, Instrumentos y Eléctrico.

#### **ABRIL**

- TR-1170-B: Mantenimiento anual. Cambio de filtros primera etapa y coalescer. Cambio de controlador VSV's.

#### **MAYO**

<b>ANEXO N° 5</b>	<b>ACTIVIDADES IMPORTANTES TURBINAS TR-1170A y TR-1170B</b>	<b>Página 4 de 4</b>
-------------------	---	----------------------

---

- TR-1170B: Continuación del Mantenimiento Anual Mecánico, Instrumentos y Eléctrico.

#### **SEPTIEMBRE**

- TR-1170A: Mantenimiento trimestral mecánico eléctrico e instrumentos.

#### **NOVIEMBRE**

- TR-1170B: Se retiran 14 filtros para aire primarios / Cambio de 4 filtros demister.
- TR-1170B: Cambio de GG + cámara de combustión+ PT. Cambio LPT. Mantenimiento anual mecánico, instrumentos y eléctrico. Alineación paquete turbina – generador.

#### **DICIEMBRE**

- TR-117A: Se retiran 6 filtros de aire primario / cambio de 4 filtros coalescer.

<b>ANEXO N° 6</b>	<b>ACTIVIDADES IMPORTANTES TURBINA TR-2170B</b>	<b>Página 1 de 2</b>
-------------------	---	----------------------

---

### **AÑO 2013**

#### **ABRIL**

- TR-2170B: Mantenimiento anual mecánico, instrumentos y eléctrico.

#### **JUNIO**

- TR-2170B: Mantenimiento 1440 horas mecánico e instrumentos.

#### **AGOSTO**

- TR-2170B: Mantenimiento bimensual mecánico /instrumentos.

#### **NOVIEMBRE**

- TR-2170B: Mantenimiento semestral mecánico, instrumentos y eléctrico.
- TR-2170B: Revisión por pérdida de eficiencia, cambio de 16 filtros coalescer y 84 de la primera etapa.

#### **DICIEMBRE**

- TR-2170B: Cambio de filtro de alta presión diesel de combustible.
- TR-2170B: Cambio de 200 filtros de aire Barrera.

### **AÑO 2014**

#### **MARZO**

- TR-2170B: Mantenimiento trimestral Mecánico e Instrumentos.

#### **JULIO**

- TR-2170B: Mantenimiento semestral Mecánico, Instrumentos, Eléctrico.

#### **OCTUBRE**

- TR-2170B: Mantenimiento trimestral Mecánico, Instrumentos, Eléctrico.

#### **DICIEMBRE**

- TR-2170B: Cambio y calibración de válvula de control de combustible gas FCV-1201.

### **AÑO 2015**

#### **FEBRERO**

- TR-2170B: Mantenimiento anual mecánico, instrumentos y eléctrico.

<b>ANEXO N° 6</b>	<b>ACTIVIDADES IMPORTANTES TURBINA TR-2170B</b>	<b>Página 2 de 2</b>
-------------------	---	----------------------

---

### **MAYO**

- TR-2170B: Mantenimiento semestral mecánico, instrumentos y eléctrico.
- TR-2170B: Revisión de sistema de combustible, cambio de válvula FCV-1202.

### **AGOSTO**

- TR-2170B: Cambio de LPT y partes calientes.
- TR-2170B: Mantenimiento trimestral mecánico e instrumentos.
- TR-2170B: Cambio de válvulas de combustible SOV-1207/1208/1209/1210/1211/1212 y FCV-1201/1205.

### **NOVIEMBRE**

- TR-2170B: Mantenimiento trimestral mecánico, instrumentos y eléctrico.

### **DICIEMBRE**

- TR-2170B: Cambio de FCV-1201/02, Mantenimiento SOV-1206/07 y cambio de válvula divisora de diésel
- TR-2170B: Revisión del sistema de Combustible Gas-Diésel.

**PDI-1404 MES DICIEMBRE 2014**

FECHA	TR-1170A		TR-1170B	
	PDI-1404	MW	PDI-1404	MW
1	2,60	14,79	2,20	13,33
2	2,60	15,42	2,40	13,92
3	2,60	15,38	2,40	13,88
4	2,70	17,33	2,50	16,04
5	2,70	17,13	2,50	15,88
6	2,70	16,50	2,50	15,38
7	2,70	13,08	2,50	14,67
8	2,70	16,58	2,50	15,38
9	2,70	17,21	2,60	15,96
10	2,70	16,71	2,60	15,42
11	2,70	16,75	2,50	15,50
12	2,80	16,17	2,60	14,88
13	2,80	15,67	2,60	14,46
14	2,90	15,75	2,60	14,75
15	2,90	15,71	2,70	14,71
16	3,00	16,92	2,80	15,88
17	3,00	15,08	2,70	14,79
18	3,00	15,75	2,80	15,04
19	3,10	15,25	2,90	14,38
20	3,10	16,00	3,00	15,00
21	3,10	15,58	3,00	14,54
22	3,40	15,50	3,10	14,46
23	3,50	14,00	3,20	12,83
24	3,60	13,54	3,40	12,38
25	3,80	15,17	3,40	14,17
26	4,00	13,42	3,40	12,21
27	4,00	15,42	3,40	14,46
28	4,10	15,71	3,40	14,67
29	4,10	13,88	3,40	12,79
30	4,10	14,04	3,50	12,92
31	4,10	14,67	3,50	13,58

DIA	TR-1170A			TR-1170B		
	MW TR-1170A	Promedio antes	Promedio después	MW TR-1170B	Promedio antes	Promedio después
1	14,79	15,46		13,33	14,54	
2	15,42	15,46		13,92	14,54	
3	15,38	15,46		13,88	14,54	
4	17,33	15,46		16,04	14,54	
5	17,13	15,46		15,88	14,54	
6	16,50	15,46		15,38	14,54	
7	13,08	15,46		14,67	14,54	
8	16,58	15,46		15,38	14,54	
9	17,21	15,46		15,96	14,54	
10	16,71	15,46		15,42	14,54	
11	16,75	15,46		15,50	14,54	
12	16,17	15,46		14,88	14,54	
13	15,67	15,46		14,46	14,54	
14	15,75	15,46		14,75	14,54	
15	15,71	15,46		14,71	14,54	
16	16,92	15,46		15,88	14,54	
17	15,08	15,46		14,79	14,54	
18	15,75	15,46		15,04	14,54	
19	15,25	15,46		14,38	14,54	
20	16,00	15,46		15,00	14,54	
21	15,58	15,46		14,54	14,54	
22	15,50	15,46		14,46	14,54	
23	14,00	15,46		12,83	14,54	
24	13,54	15,46		12,38	14,54	
25	15,17	15,46		14,17	14,54	
26	13,42	15,46		12,21	14,54	
27	15,42	15,46		14,46	14,54	
28	15,71	15,46		14,67	14,54	
29	13,88	15,46		12,79	14,54	
30	14,04	15,46		12,92	14,54	
31	14,67	15,46		13,58	14,54	
1	15,45	15,46		14,25	14,54	
2	14,85	15,46		13,80	14,54	
3	16,50	15,46		15,30	14,54	
4	14,55	15,46		13,50	14,54	
5	15,15	15,46		14,10	14,54	
6	3,30	Mantenimiento		14,85	14,54	
7	14,85		16,60	13,65	14,54	

ANEXO N° 8	<b>PRESION DIFERENCIAL DE LOS FILTROS DE AIRE</b>	Página 2 de 2
------------	---	---------------

8	15,15		16,60	13,95	14,54	
9	16,95		16,60	15,30	14,54	
10	17,40		16,60	15,45	14,54	
11	17,25		16,60	15,45	14,54	
12	17,25		16,60	15,75	14,54	
13	16,80		16,60	15,30	14,54	
14	17,10		16,60	15,45	14,54	
15	16,20		16,60	6,00	Mantenimiento	
16	15,90		16,60	8,10		
17	17,40		16,60	16,05		15,68
18	16,50		16,60	15,15		15,68
19	16,20		16,60	15,45		15,68
20	17,10		16,60	16,20		15,68
21	16,80		16,60	15,75		15,68
22	16,50		16,60	15,90		15,68
23	16,80		16,60	16,35		15,68
24	15,60		16,60	15,15		15,68
25	15,90		16,60	12,60		15,68
26	16,80		16,60	15,90		15,68
27	17,25		16,60	16,50		15,68
28	16,95		16,60	16,05		15,68
29	16,80		16,60	15,90		15,68
30	16,50		16,60	15,45		15,68
31	16,95		16,60	16,80		15,68

<b>ANEXO N° 9</b>	<b>EMISIONES DE GASES A LA ATMÓSFERA</b>	<b>Página 1 de 2</b>
-------------------	--	----------------------

**Año 2013**

	2013											
	I			II			III			IV		
	SO2 mg/m3	NOX mg/m3	CO mg/m3									
<b>TR-2170B</b>	<30	255,0	24,5	<30	271,5	<25	<59	256,5	30,0	<42,00	279,5	27,0
<b>TR-1170A</b>	349,0	352,5	<27	361,5	368,0	<29	<62	242,0	132,0	319,5	265,0	<54,0
<b>TR-1170B</b>	350,5	343,5	39,5	359,0	365,5	29,5	<84	235,0	<37	359,0	294,5	<26,0

**Año 2014**

	2014											
	I			II			III			IV		
	SO2 mg/m3	NOX mg/m3	CO mg/m3									
<b>TR-2170B</b>	<57	258,0	<25	<30	289,5	<24	3,0	127,0	23,0	0,0	207,4	1,2
<b>TR-1170A</b>	231,5	349,0	<27	324,0	340,5	<26	609,1	546,2	66,6	234,9	289,2	26,2
<b>TR-1170B</b>	128,5	372,0	<26	171,5	202,5	<13	504,0	446,0	167,0	268,5	241,6	40,6

**Año 2015**

	2015											
	I			II			III			IV		
	SO2 mg/m3	NOX mg/m3	CO mg/m3									
<b>TR-2170B</b>	0,0	204,0	1,3	0,0	295,4	5,3	10,6	241,5	71,7	0,0	219,0	10,9
<b>TR-1170A</b>	289,5	390,0	50,7	NA			437,6	260,7	25,7	NA		
<b>TR-1170B</b>	348,2	316,3	29,6	239,3	358,0	12,6	357,1	395,5	32,1	303,7	329,2	26,7

ge.com/marine

# LM2500

## Marine Gas Turbine

The LM2500 marine gas turbine is a simple-cycle, two-shaft, high-performance engine. Derived from GE's TF39 and CF6-6 aircraft engines, the LM2500 consists of a gas generator, a power turbine, attached fuel and lube oil pumps, a fuel control and speed governing system, associated inlet and exhaust sections, lube and scavenge systems as well as controls and devices for starting and monitoring engine operation.

The LM2500 has four major components: a 16-stage, 18:1 pressure ratio compressor with seven stages of variable stators and inlet guide vanes; a fully annular combustor with externally mounted fuel nozzles; a two-stage, air-cooled high-pressure turbine which drives the compressor and the accessory-drive gearbox; and a six-stage, aerodynamically coupled, low-pressure power turbine which is driven by the gas generator's high-energy exhaust gas flow.

Easy to install and maintain, the LM2500 features the following: a simple modular design, marine corrosion-resistant materials and minimum size, weight and space requirements per horsepower. The LM2500 delivers high thermal efficiency and low fuel and airflow per horsepower.

The LM2500 marine gas turbine is frequently housed in a high-shock-resistant, thermal, acoustic enclosure and mounting base. The enclosure attenuates noise in the engine room and provides sensors for inlet icing and fire detection. It also houses fire extinguishing equipment. GE furnishes these modules for the United States Navy and other navies. The modules can be equipped with either resilient shock mounts or hard mounts. Resilient shock mounts not only provide mechanical safeguards, they also are important for absorbing structure-borne noises and reducing the ship's noise signature.

Pre-wired, pre-piped and factory-tested for easy installation, the LM2500 module weighs just 48,000 pounds (22,000 kilograms) with shock mounts and 45,500 pounds (20,639 kilograms) without. It requires only 324 x 108 x 120 cubic inches of ship space (27 x 9 x 10 feet) (8.23 x 2.74 x 3.05 meters). The inlet duct flow area is 48 square feet and the exhaust duct flow area is 36 square feet (3.34 square meters).

The simple modular design of the LM2500 incorporates many features which maximize shipboard maintainability and minimize parts replacement downtime, such as a split compressor casing, in-place blade and vane replacement, in-place hot section maintenance and accessible external fuel nozzles.

**Imagination at work.**



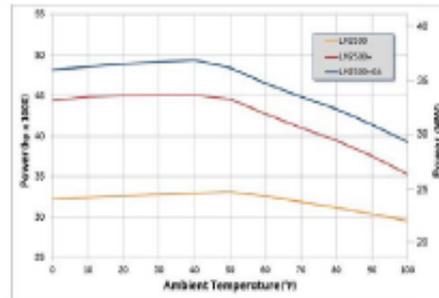
### Performance

Output	33,600 shp (25,060 kW)
SFC	.373 lb/shp-hr (227 g/kW-hr)
Heat rate	6,860 Btu/shp-hr 9,200 Btu/kW-hr 9,705 kJ/kW-hr
Exhaust gas flow	155 lb/sec (70.5 kg/sec)
Exhaust gas temperature	1,051°F (566°C)
Power turbine speed	3600 rpm

Average performance, 60 Hertz, 59°F, sea level, 60% relative humidity, no inlet/exhaust losses

### Max Power vs. Ambient Temperature

losses: inlet/exhaust 4/6 inches (10/15 centimeters) water



LM2500 United States Navy Module



GE Aviation (Cincinnati, OH)  
www.ge.com/marine

©2016 GE

## LM2500 Marine Gas Turbine

### LM2500 Marine Gas Turbine Genset

The LM2500 marine gas turbine can be coupled with an electric generator making an LM2500 marine gas turbine-generator set. The LM2500 gensets are ideal for military applications for which electric drive is the propulsion system of choice. The Japanese *Asuka* research ship uses the LM2500 in an electric drive propulsion system. Seventeen cruise ships in service use GE's LM2500 and LM2500+ gas turbine gensets for the total propulsion and ship service demand. GE furnishes the complete LM2500 gas turbine-generator set using a generator from a generator manufacturer acceptable to the customer.

### Dimensions\*

Base plate width	104 in (2.64 m)
Base plate length	549 in (13.94 m)
Enclosure height	157 in (3.98 m)
Base plate weight	198,000 lb (90,000 kg)
Duct flow areas	
Inlet	48 sq ft (4.46 sq m)
Exhaust	30 sq ft (3.34 sq m)

\* Exact dimensions, weight and performance vary with the specific generator selected.

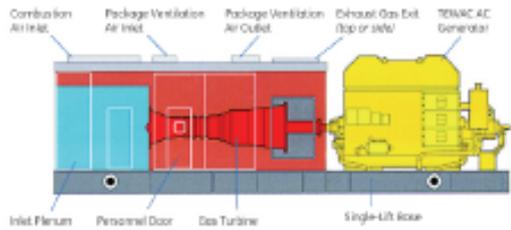
### Performance\*

Output	24,050 kW
Heat rate	9,421 Btu/kw-hr
Thermal efficiency	36%

Average performance, 60 Hertz, 59°F, sea level, 60% relative humidity, 4 inches water inlet loss, 6 inches water exhaust loss

### Specific Qualifications

The LM2500 gas turbine propulsion system (turbine, base and enclosure plus lube oil storage and conditioning assembly) has been evaluated and accepted by the U.S. Navy as meeting their requirements for shock, vibration, EMI and electrical bonding plus airborne and structure-borne noise required for surface combatant vessels. Each LM2500 production unit is acceptance-tested by GE and is available for customer witness. The LM2500 gas turbine has been granted type approval by ABS, BV, DNV GL and Lloyd's Register.



GE Aviation (Cincinnati, OH)  
www.ge.com/marine  
Other product sheets are available on the LM500, LM2500+, LM2500+G4 and LM5000 gas turbines.

AE-69212B (2-16)  
©2016 GE

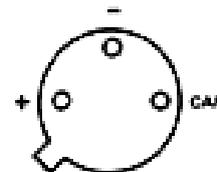
Two-Terminal IC  
Temperature Transducer

AD590

## FEATURES

Linear Current Output: 1  $\mu\text{A}/\text{K}$   
 Wide Range:  $-55^{\circ}\text{C}$  to  $+150^{\circ}\text{C}$   
 Probe Compatible Ceramic Sensor Package  
 Two Terminal Device: Voltage In/Current Out  
 Laser Trimmed to  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  Calibration Accuracy (AD590M)  
 Excellent Linearity:  $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$  Over Full Range (AD590M)  
 Wide Power Supply Range:  $+4\text{ V}$  to  $+30\text{ V}$   
 Sensor Isolation from Case  
 Low Cost

## PIN DESIGNATIONS



BOTTOM VIEW

## PRODUCT DESCRIPTION

The AD590 is a two-terminal integrated circuit temperature transducer that produces an output current proportional to absolute temperature. For supply voltages between  $+4\text{ V}$  and  $+30\text{ V}$  the device acts as a high impedance, constant current regulator passing 1  $\mu\text{A}/\text{K}$ . Laser trimming of the chip's thin-film resistors is used to calibrate the device to 298.2  $\mu\text{A}$  output at 298.2K ( $+25^{\circ}\text{C}$ ).

The AD590 should be used in any temperature sensing application below  $+150^{\circ}\text{C}$  in which conventional electrical temperature sensors are currently employed. The inherent low cost of a monolithic integrated circuit combined with the elimination of support circuitry makes the AD590 an attractive alternative for many temperature measurement situations. Linearization circuitry, precision voltage amplifiers, resistance measuring circuitry and cold junction compensation are not needed in applying the AD590.

In addition to temperature measurement, applications include temperature compensation or correction of discrete components, biasing proportional to absolute temperature, flow rate measurement, level detection of fluids and anemometry. The AD590 is available in chip form making it suitable for hybrid circuits and fast temperature measurements in protected environments.

The AD590 is particularly useful in remote sensing applications. The device is insensitive to voltage drops over long lines due to its high impedance current output. Any well insulated twisted pair is sufficient for operation hundreds of feet from the receiving circuitry. The output characteristics also make the AD590 easy to multiplex: the current can be switched by a CMOS multiplexer or the supply voltage can be switched by a logic gate output.

## REV. B

Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Analog Devices for its use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Analog Devices.

## PRODUCT HIGHLIGHTS

1. The AD590 is a calibrated two terminal temperature sensor requiring only a dc voltage supply ( $+4\text{ V}$  to  $+30\text{ V}$ ). Costly transmitters, filters, lead wire compensation and linearization circuits are all unnecessary in applying the device.
2. State-of-the-art laser trimming at the wafer level in conjunction with extensive final testing ensures that AD590 units are easily interchangeable.
3. Superior interface rejection results from the output being a current rather than a voltage. In addition, power requirements are low (1.5 mW @ 5 V @  $+25^{\circ}\text{C}$ .) These features make the AD590 easy to apply as a remote sensor.
4. The high output impedance ( $>10\text{ M}\Omega$ ) provides excellent rejection of supply voltage drift and ripple. For instance, changing the power supply from 5 V to 10 V results in only a 1  $\mu\text{A}$  maximum current change, or  $1^{\circ}\text{C}$  equivalent error.
5. The AD590 is electrically durable: it will withstand a forward voltage up to 44 V and a reverse voltage of 20 V. Hence, supply irregularities or pin reversal will not damage the device.

<b>ANEXO N° 12</b>	<b>BITÁCORA DE MANTENIMIENTO TURBINAS LM2500</b>	<b>Página 1 de 5</b>
--------------------	--	----------------------

---

## **ACTIVIDADES MECÁNICAS**

### **Mantenimiento Básico cada 2 meses**

- Revisar el strainer de la línea de retorno de aceite del acople de arranque.
- Limpiar strainer de las bombas Forward de combustible.
- Limpiar Strainers de las bombas Booster.
- Limpiar e inspeccionar Bujías.
- Lubricar el acople de la bomba mecánica del Generador.
- Revisar Bandas de los enfriadores de aceite del generador y Turbina.
- Inspeccionar acople de la bomba mecánica de lubricación.
- Limpiar externamente enfriadores de aceite del Generador.
- Lubricar chumaceras de los enfriadores de aceite lubricante de la Turbina y Generador.
- Limpiar strainers de la bomba scavenge.
- Limpiar externamente enfriadores de aceite.
- Ajustar / cambiar bandas de los enfriadores de aceite lubricante Turbina y Generador.
- Inspeccionar la condición de los dámpers de los ventiladores de aire del enclosure o recinto del generador.
- Limpiar el plenum.
- Inspeccionar la Condición de los dampers de extractor de aire del enclosure de la Turbina.
- Inspeccionar la parte externa del silenciador de aire de admisión de la Turbina.
- Ajustar / cambiar bandas de los extractores de aire del recinto de la turbina.
- Ajustar / cambiar bandas de los extractores de aire del recinto del Generador.
- Cambiar filtros de aire coalescer (16) y limpiar el área.
- Lubricar chumaceras de los extractores del recinto de aire de la turbina.
- Lubricar chumaceras de los extractores del recinto de aire del Generador.
- Limpiar componentes internos de las válvulas check en la línea de Gas en recinto de la turbina.

<b>ANEXO N° 12</b>	<b>BITÁCORA DE MANTENIMIENTO TURBINAS LM2500</b>	<b>Página 2 de 5</b>
--------------------	--	----------------------

---

### **Mantenimiento Semestral**

- Revisar coupling de las bombas Forward de combustible.
- Revisar las toberas de combustible. De acuerdo a la diferencia de temperatura del Spread.
- Revisar coupling de las bombas Booster de combustible.
- Inspeccionar la condición del acople y bomba de pre y post lubricación.
- Revisar el correcto funcionamiento de la válvula de direccionamiento hacia los enfriadores de aceite.
- Revisar el ajuste de líneas de aceite.
- Cambiar filtros de aire de primera etapa (84).
- Realizar inspección boroscópica.
- Limpiar componentes internos de las válvulas check en la línea de gas en recinto de la turbina.

### **Mantenimiento Anual**

- Limpiar strainer del tanque del sistema de arranque hidráulico.
- Revisar el embrague de conexión entre el motor hidráulico de arranque y la caja de engranajes.
- Inspeccionar componentes internos de válvulas check de bombas Booster.
- Limpiar componentes internos de válvula check del porta-filtro de los pre-filtros.
- Limpiar e inspeccionar filtro respirador del tanque reservorio.

## **ACTIVIDADES DE INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL**

### **Mantenimiento Básico cada 2 meses**

- Inspección y pruebas del sistema contra incendios.
- Limpieza de líneas de recoup.
- Calibrar Switches ((3), arrancador hidráulico).
- Calibrar termocuplas de la turbina (11).

<b>ANEXO N° 12</b>	<b>BITÁCORA DE MANTENIMIENTO TURBINAS LM2500</b>	<b>Página 3 de 5</b>
--------------------	--	----------------------

- Pruebas de aislamiento de cables críticos de control.

#### **Mantenimiento Semestral**

- Calibrar Switchs de la turbina (59).
- Mantenimiento Instrumentación del sistema de aire (Realizar calibración de Switch de presión de aire: PDCHH-1406, PDCH-1405, PDSL-1407, PDSHH-1465)

#### **Mantenimiento Anual**

- Calibración de PT de la Turbina y Generador (7)
- Pruebas de aislamiento de cables críticos de control (21).
- Realizar mantenimiento de relés (válvulas) neumáticos de la línea de Gas: FSV-1206, FSV-1204.
- Calibrar RTDs del Generador (20).
- Calibrar RTDs de la turbina (17)

### **ACTIVIDADES ELÉCTRICAS**

#### **Mantenimiento Semestral**

- Verificar Condiciones del sistema ROTOR GROUND FAULT (conector del transmisor y escobilla).
- Inspeccionar y limpiar cajas de conexiones eléctricas de barra del neutro.
- Inspección de las cabezas de bobinas del estator del generador.
- Lubricar y reajustar conexiones de puesta a tierra.
  
- Medir resistencia de puesta a tierra (Ground resistor).
- Reajustar conexiones eléctricas en caja de potencia.
- Inspección de los cables de PMG y de Excitatríz.
- Inspección de conexiones eléctricas y transformadores de potencial y corriente.
- Inspeccionar cajas de conexiones en motores de equipos auxiliares.

ANEXO N° 12	<b>BITÁCORA DE MANTENIMIENTO TURBINAS LM2500</b>	<b>Página 4 de 5</b>
-------------	--	----------------------

- 
- Limpiar y reajustar conexiones eléctricas de arrancadores de equipos auxiliares.
  - Realizar pruebas de aislamiento en motores de equipos auxiliares.  
Inspección de la integridad de componentes del arrancador.
  - Verificación/reemplazo de las luces indicadoras.
  - Pruebas de funcionamiento del arrancador, prueba manual del relé de sobrecarga.
  - Pruebas del motor con carga, medición de corriente, evaluar su valor respecto a nominal y registrarla.
  - Realizar mediciones de densidad del electrolito de baterías y realizar toma de parámetros del cargador de los sistemas de control y sistema contra incendios.

#### **Mantenimiento Anual**

- Verificar el estado de Bobinados de excitatriz, varistor y diodos
- Inspección/pruebas de aislamiento de los cables de PMG y de Excitatriz.
- Lubricar y reajustar conexiones de puesta a tierra.
- Medir resistencia de puesta a tierra (Ground resistor).
- Reajustar conexiones eléctricas en caja de potencia.
- Inspección y reajuste de conexiones eléctricas de transformadores de potencial y corriente.
- Inspeccionar y medir capacitancia y tomar datos de la placa del capacitor.
- Inspeccionar y realizar pruebas de aislamiento pararrayos.
  
- Realizar pruebas de aislamiento del generador y cable de potencia.
- Inspección de la integridad de componentes del arrancador.
- Verificar la ausencia de voltaje y puesta a tierra, retiro del disyuntor de la barra.
- Limpiar el disyuntor y celda de conexión @ 13.8 Kv.
- Pruebas de apertura y cierre del disyuntor.

<b>ANEXO N° 12</b>	<b>BITÁCORA DE MANTENIMIENTO TURBINAS LM2500</b>	<b>Página 5 de 5</b>
--------------------	--	----------------------

---

- Inspección, limpieza y reajuste de conexiones de la caja de conexiones del motor eléctrico.
- Limpiar y reajustar conexiones eléctricas de arrancadores de equipos auxiliares.
- Pruebas de aislamiento del cable alimentador del motor eléctrico.
- Pruebas de funcionamiento del arrancador, prueba manual del relé de sobrecarga.
- Pruebas del motor con carga, medición de corriente, evaluar su valor respecto a nominal y registrarla.
- Verificar estado de heaters de: Generador, Tanque reservorio del arrancador hidráulico, tanque de almacenamiento de lubricante Turbina y tanque de almacenamiento de lubricante Generador.