

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA EN ENERGIA**



**“EFECTO DEL NUMERO DE ARRANQUES  
ANUALES EN EL INCREMENTO DEL COSTO DE  
MANTENIMIENTO DE UNA CENTRAL TERMICA A  
GAS DE 25 MW.”**

**Tesis para Optar el Título de Ingeniero en Energía**

**AUTOR :**

Bachiller: Mario Edelbino MENDOZA PAREDES

**ASESOR :**

Mg. Robert Fabián Guevara Chinchayán

**NUEVO CHIMBOTE, JUNIO DEL 2017**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
ESCUELA PROFESIONAL EN ENERGIA**

**CARTA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR**

La presente Tesis ha sido revisada y desarrollada en cumplimiento del objetivo propuesto y reúne las condiciones formales y metodológicas, estando encuadrado dentro de las áreas y líneas de investigación conforme al reglamento general para obtener el título profesional en la Universidad Nacional del Santa (R: D: N° 471-2002-CU-R-UNS) de acuerdo a la denominación siguiente:

**TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO EN  
ENERGIA**

**“EFECTO DEL NUMERO DE ARRANQUES ANUALES EN EL  
INCREMENTO DEL COSTO DE MANTENIMIENTO DE UNA CENTRAL  
TERMICA A GAS DE 25 MW.”**

TESISTA:

Bachiller Mario Edelbino MENDOZA PAREDES

.....  
MG. ROBERT GUEVARA CHINCHAYAN  
ASESOR

Nuevo Chimbote, Junio del 2017



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍA**

**CARTA DE CONFORMIDAD DEL JURADO EVALUADOR DE TESIS**

Damos conformidad del presente estudio, desarrollado en cumplimiento del objeto propuesto y presentado conforme al Reglamento General para obtener el Título Profesional de INGENIERO EN ENERGÍA en la Universidad Nacional de la Santa titulada:

**“EFECTO DEL NUMERO DE ARRANQUES ANUALES EN EL  
INCREMENTO DEL COSTO DE MANTENIMIENTO DE UNA CENTRAL  
TERMICA A GAS DE 25 MW.”**

Presentado por:

**Bach. MARIO EDELBINO MENDOZA PAREDES**

Revisada y Evaluada por el siguiente Jurado Evaluador:

---

**Mg. Amancio Rojas Flores**  
Presidente

---

**Ing. Julio Escate Ravello**  
Integrante

---

**Mg. Robert Guevara Chinchayán**  
Integrante

Nuevo Chimbote, Junio de 2017

**DEDICATORIA: MARIO MENDOZA**

*A nuestros queridos Padres por el esfuerzo  
Cariño , dedicación de todos los días y su  
afán de siempre querer lo mejor para nosotros.*

*A mi esposa y mi hijita por  
Su cariño y comprensión y por  
Ser la luz y motivo de mi superación.*

*A Dios por su apoyo infinito y por ser nuestro guía  
En nuestra carrera y por ser la luz en nuestra vida.*

## **RECONOCIMIENTO**

A nuestros colegas y amigos  
De la EAP de Ingeniería en Energía  
Siempre los recordare por esos  
Gratos momentos de compañerismo y  
Estudio.

A los Profesores de la  
EAP de Ingeniería en Energía  
Y a mi Asesor Mg Robert Guevara  
Por el apoyo desinteresado  
Y sus enseñanzas durante  
Nuestra vida universitaria.

MARIO MENDOZA

## INDICE

INDICE

RESUMEN

ABSTRACT

CAPITULO I: INTRODUCCION	1
1.1 Realidad Problemática	2
1.2 Antecedentes	4
1.3 Descripción del lugar donde se ha realizado el estudio	6
1.4 Justificación	8
1.5 Hipótesis	9
1.6 Objetivos	9
CAPITULO II: MARCO TEORICO	11
2.1 Centrales Termoeléctricas con Motores de Combustión Interna	12
2.2 Componentes	34
2.3 Mantenimiento de Centrales Termoeléctricas con M.C.I	62
2.4 Arranques de una Central Termoeléctrica	70
2.5 Despacho y ordenamiento de la generación de energía eléctrica	79
CAPITULO III: MATERIALES Y METODOS	81
3.1 Materiales	82
3.2 Método de Investigación	86

CAPITULO IV: CALCULOS Y DISCUSION DE RESULTADOS	89
4.1    Calculo de los Indicadores técnicos-económicos	90
4.2    Determinación del Costo fijo de mantenimiento anual	91
4.3    Determinación del Costo por categorías de mantenimiento variable	94
4.4    Determinación de la anualidad del costo Variable de Mantenimiento por escenarios	111
4.5    Determinación del Costo Variable de Mantenimiento	130
4.6    Discusión de resultados	133
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	139
Conclusiones	140
Recomendaciones	142
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	143
ANEXOS	146

## LISTA DE FIGURAS

Figura N° 1 Central Termoeléctrica con MCI	12
Figura N° 2 Esquema de Generación de Potencia	13
Figura N°3 MCI con Encendido por explosión	16
Figura N°4 Encendido por explosión con inyección indirecta	17
Figura N° 5 Encendido por explosión con inyección directa	18
Figura N° 6 Encendido por explosión con inyección y sobrealimentación	19
Figura N° 7 MCI con Encendido por compresión	21
Figura N°8 Diagrama de carga para Potencia en stand by.	23
Figura N°9 Diagrama de carga para Potencia prime con tiempo de operación ilimitado	24
Figura N°10 Diagrama de carga para Potencia prime con tiempo de operación Limitado	25
Figura N°11 Diagrama de carga para Potencia prime con carga base	26
Figura N° 12 Potencia y rendimientos de una Central Termoeléctrica con MCI	30
Figura N° 13 Culata de un MCI	35
Figura N° 14 Colector de admisión de un MCI	36
Figura N° 15 Árbol de levas	37
Figura N° 16 Polea de árbol de levas	38
Figura N° 17 Tren de balancines	39
Figura N° 18 Dimensiones de una Válvula	40
Figura N° 19 Bujía de Iridio BOSCH	41
Figura N°20 Empaquetadura de culata de Motor Wartsila	42
Figura N° 21 Componentes de un árbol cigüeñal	43
Figura N°22 Biela de un motor de combustión interna	44
Figura N° 23 Cara de pistón dañado	46
Figura N° 24 Cilindro de un motor de combustión interna	47
Figura N° 25 Camisas de un motor de combustión interna	48
Figura N° 26 Sistema de Refrigeración de un motor	49
Figura N° 27 Estación de Regulación y medición de Gas Natural	50



Figura N° 28 Subsistema de control electrónico motor con gas natural	52
Figura N° 29 Sistema de inyección de motor 34V18G	53
Figura N° 30 Turbocompresor de MCI	54
Figura N° 31 Convertidor catalítico	55
Figura N° 32 Partes de un generador eléctrico	60
Figura N° 33 Periodo de arranque parada para una central Termoeléctrica	75
Figura N° 34 Enfriadores de los Grupos Westfalia	83
Figura N° 35 Grupos Westfalia conformantes de la CT Independencia	85
Figura N°36 Asignación de Categoría de Mantenimiento Año 1 y 3000 HO	112
Figura N° 37 Asignación de Categoría de Mantenimiento, Año 2 ,3000 HO	114
Figura N° 38 Asignación de Categoría de Mantenimiento, Año 3 ,3000 HO	116
Figura N° 38 Asignación de Categoría de Mantenimiento, Año 4 ,3000 HO	118

#### **LISTA DE CUADROS**

Cuadro N° 1 Centrales de Energía-Empresa EGESUR	7
Cuadro N° 3 Combustibles para M.C.I con encendido por explosión	19
Cuadro N° 4 Heat Rate para Centrales Termoeléctricas con MCI	32
Cuadro N° 5 CVC para Centrales Termoeléctricas con MCI	33
Cuadro N°6 Categoría de Mantenimiento	66
Cuadro N° 7 CVC de Centrales Termoeléctricas en competencia por el despacho	80
Cuadro N° 8 Propiedades fisicoquímicas del Gas Natural del Perú	82
Cuadro N° 9-A Especificaciones técnicas MCI 1-2-3 y 4 conformante de la Central Termoeléctrica Independencia	84
Cuadro N° 9-B Especificaciones técnicas Generadores 1,2,3 y 4 conformantes de la Central Termoeléctrica Independencia	84
Cuadro N° 10 Reporte Histórico según número de arranques de Generadores 1,2,3 y 4 conformantes de la Central Termoeléctrica Independencia	85
Cuadro N° 11 Generación de Energía (GWh-año) por unidades conformantes de la Central Termoeléctrica Independencia	86

Cuadro N° 12 Reporte Histórico Horas de Operación por unidades conformantes de la Central Termoeléctrica Independencia	86
Cuadro N° 13 Estructura de Costos Fijos de Mantenimiento Anual por Unidad Total	92
Cuadro N° 14 Estructura de Costos Fijos de Mantenimiento Anual Común- Central Termoeléctrica	93
Cuadro N° 15 Resumen Costos por Categorías de Mantenimiento	94
Cuadro N° 16 Costo de Mantenimiento de 4,000 Horas Central Termoeléctrica Independencia- Inspección de Válvulas de Inyección	95
Cuadro N° 17 Costo de Mantenimiento de 4,000 Horas Central Termoeléctrica Independencia- Sistema de Aceite	95
Cuadro N° 19 Costo de Mantenimiento de 4,000 Horas Central Termoeléctrica Independencia- Turbocompresores	96
Cuadro N° 20 Costo de Mantenimiento de 4,000 Horas Central Termoeléctrica Independencia- Separadoras de Aceite	97
Cuadro N° 21 Costo de Mantenimiento de 4,000 Horas Central Termoeléctrica Independencia- Sistema de Refrigeración de Alta y Baja Temperatura	97
Cuadro N° 22 Costo de Mantenimiento de 8,000 Horas Central Termoeléctrica Independencia- Conjunto de Potencia Culatas	98
Cuadro N° 23 Costo de Mantenimiento de 8,000 Horas Central Termoeléctrica Independencia- Turbocompresores	98
Cuadro N° 24 Costo de Mantenimiento de 8,000 Horas Central Termoeléctrica Independencia- Separadora de Aceite	99
Cuadro N° 25 Costo de Mantenimiento de 8,000 Horas Central Termoeléctrica Independencia- Bombas de Agua y Aceite	99
Cuadro N° 26 Costo de Mantenimiento de 8,000 Horas Central Termoeléctrica Independencia- Sistema de Admisión	100
Cuadro N° 27 Costo de Mantenimiento de 8,000 Horas Central Termoeléctrica Independencia- Sistema de Refrigeración	100
Cuadro N° 28 Costo de Mantenimiento de 8,000 Horas Central Termoeléctrica Independencia- Alineamiento	101
Cuadro N° 29 Costo de Mantenimiento de 8,000 Horas Central Termoeléctrica Independencia- Sistema de Enfriamiento Alternador	101
Cuadro N° 30 Costo de Mantenimiento de 16,000 Horas Central Termoeléctrica Independencia-Culatas	102

Cuadro N° 31 Costo de Mantenimiento de 16,000 Horas Central Termoeléctrica Independencia-Regulador	102
Cuadro N° 32 Costo de Mantenimiento de 16,000 Horas Central Termoeléctrica Independencia-Tren de engrase y eje de levas	103
Cuadro N° 33 Costo de Mantenimiento de 16,000 Horas Central Termoeléctrica Independencia-Turbocompresores	104
Cuadro N° 34 Costo de Mantenimiento de 16,000 Horas Central Termoeléctrica Independencia-Conjunto de Potencia	104
Cuadro N° 35 Costo de Mantenimiento de 16,000 Horas Central Termoeléctrica Independencia-Separadora de Aceite	105
Cuadro N° 36 Costo de Mantenimiento de 16,000 Horas Central Termoeléctrica Independencia-Sistema de Distribución y Arranque	105
Cuadro N° 37 Costo de Mantenimiento de 16,000 Horas Central Termoeléctrica Independencia-Cigüeñal	106
Cuadro N° 38 Costo de Mantenimiento de 48,000 Horas Central Termoeléctrica Independencia-Cigüeñal	106
Cuadro N° 39 Costo de Mantenimiento de 48,000 Horas Central Termoeléctrica Independencia-Tren de engrase y árbol	107
Cuadro N° 40 Costo de Mantenimiento de 48,000 Horas Central Termoeléctrica Independencia-Camisas de Piston	107
Cuadro N° 41 Costo de Mantenimiento de 48,000 Horas Central Termoeléctrica Independencia-Colector de gases de escape	108
Cuadro N° 42 Costo de Mantenimiento de 48,000 Horas Central Termoeléctrica Independencia-Supervisión de Trabajos Especiales	109
Cuadro N° 43 Costo de Mantenimiento de 48,000 Horas Central Termoeléctrica Independencia-Alternador	109
Cuadro N° 44 Costo de Mantenimiento de 48,000 Horas Central Termoeléctrica Independencia-Turbocompresor	110
Cuadro N° 45 Costo de Mantenimiento de 48,000 Horas Central Termoeléctrica Independencia-Sistema de Alimentación de Gas Natural	110
Cuadro N° 46 Anualidad del Costo Variable de Mantenimiento para un escenario de 0 horas de operación	120
Cuadro N° 47 Anualidad del Costo Variable de Mantenimiento para un escenario de 1,000 horas de operación	121

Cuadro N° 48 Anualidad del Costo Variable de Mantenimiento para un escenario de 2,000 horas de operación	122
Cuadro N° 49 Anualidad del Costo Variable de Mantenimiento para un escenario de 3,000 horas de operación	123
Cuadro N° 50 Anualidad del Costo Variable de Mantenimiento para un escenario de 4,000 horas de operación	124
Cuadro N° 51 Anualidad del Costo Variable de Mantenimiento para un escenario de 5,000 horas de operación	125
Cuadro N° 52 Anualidad del Costo Variable de Mantenimiento para un escenario de 6,000 horas de operación	126
Cuadro N° 53 Anualidad del Costo Variable de Mantenimiento para un escenario de 7,000 horas de operación	127
Cuadro N° 54 Anualidad del Costo Variable de Mantenimiento para un escenario de 8,000 horas de operación	128
Cuadro N° 55 Resumen Anualidad del Costo Variable de Mantenimiento para diversos escenarios de operación	130
Cuadro N° 56 Resumen Anualidad del Costo Variable de Mantenimiento para diversos escenarios de operación	131
Cuadro N° 57 Costo Total de Mantenimiento y Costo Unitario de Mantenimiento para diversos números de arranques con la generación actual de energía	133
Cuadro N° 58 Estructura de los Costos de Operación	137

### **LISTA DE GRAFICOS**

Grafico N° 1 Comportamiento de la Anualidad del Costo Variable de Mantenimiento según escenarios de operación en horas	130
Grafico N° 2 Comportamiento del Costo Total de Mantenimiento Anual según horas de operación	132
Grafico N° 3 Distribución porcentual del Costo Fijo de Mantenimiento	134
Grafico N° 4 Histórico promedio de arranques anuales Central Termoeléctrica Independencia	135
Grafico N° 5 Comportamiento del Costo Total de Mantenimiento Anual según número de arranques	136
Grafico N° 6 Porcentaje de participación de los costos de Mantenimiento en el Costo de Operación de la Central Termoeléctrica	138

## RESUMEN

La Central Termoeléctrica Independencia se encuentra ubicada en la localidad de Pisco, generando 25 MW de Potencia Efectiva con 4 unidades del Tipo Westfalia 18V34SGA2 con un Ciclo termodinámico Otto, dentro de sus costos operativos, el costo variable de mantenimiento es parte de su estructura de costos. Estando en una condición de operatividad para cubrir cargas de demanda puntuales en horas base y en horas punta con un promedio de número de arranques de 228 (promedio de los últimos 4 años), el cual de alguna manera influye en su condición para el ingreso al sistema eléctrico interconectado.

El presente informe se desarrolla en base al enfoque cuantitativo, de estudio es pre-experimental, en el cual se analiza la influencia del número de arranques en los costos de mantenimiento. Para lo cual se establecen las Categorías de mantenimiento M4000, M8000, M16000 y M480000 así como los escenarios de evaluación desde 1,000 a 8,000 horas de operación para la contratación de la hipótesis.

Se determinó que el costo de mantenimiento es de 2.15 U\$/MWh, el cual se incrementa al reducirse el número de arranques para una misma generación de energía analizada. Así mismo este último valor representa el 7.90 % del Costo de Operación y permite una mejor condición de operatividad en la cobertura de la demanda de energía en el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional

**PALABRA CLAVE:** Numero de Arranques de Centrales Termoeléctricas y Costo de Mantenimiento

## ABSTRACT

The Independencia Thermoelectric Power Plant is located in the town of Pisco, generating 25 MW of Effective Power with 4 Westfalia Type 18V34SGA2 units with a Otto Thermodynamic Cycle, within its operating costs, the variable cost of maintenance is part of its cost structure . Being in an operative condition to cover point demand loads in base hours and peak hours with an average number of starts of 228 (average of the last 4 years), which in some way influences its condition for income Interconnected electrical system.

The present report is developed based on the quantitative approach, which is a pre-experimental study, in which the influence of the number of starts on maintenance costs is analyzed. For this, the maintenance categories M4000, M8000, M16000 and M480000 are established, as well as the evaluation scenarios from 1,000 to 8,000 operating hours for the contracting of the hypothesis.

It was determined that the maintenance cost is 2.15 U \$ / MWh, which is increased by reducing the number of startups for the same power generation analyzed. Likewise, this last value represents 7.90% of the Operation Cost and allows a better operating condition in the coverage of energy demand in the National Interconnected Electricity System

**KEYWORD:** Number of Starts of Thermoelectric and Maintenance Cost

# **CAPITULO I**

## **INTRODUCCION**

## 1.1 REALIDAD PROBLEMÁTICA

El sistema actual de generación de energía eléctrica, en condiciones de mercado competitivo, los productores de energía eléctrica están presionados a mantener los índices de disponibilidad en niveles elevados. La salida de servicio no planificada de unidades de generación y el aumento de los costos de mantenimiento son serios problemas que se presentan debido a la pérdida de confiabilidad producto del incremento de los índices de fallas provocadas por diversos factores entre los cuales se pueden citar deterioro de los aislamientos de los generadores debido a no haber desarrollado una adecuada estrategia de mantenimiento, deficientes estrategias de operación, etc.

En la programación y planificación de la operación de la generación se suscita un problema para las empresas de generación de energía día a día, el cual es mantener costos totales de operación (costos variables por consumo de combustible y los costos de mantenimiento) en valores que le permitan ser considerados en la programación de la generación de energía diaria. La entrada en servicio de las Centrales de Ciclo Combinado tal como Fénix Power , Kallpa y Chilca que operan gas natural ha desplazado una cantidad de centrales de generación con carbón y diesel a la condición de reserva ( maquina apagada , no trabaja , no participa de los beneficios de la generación de energía ) debido a sus costos totales de operación elevados ; así mismo las centrales de generación con ciclo joule Brayton abierto ciclo simple y los grupos electrógenos con motores de combustión interna ciclo Otto , ambas tecnologías operando con gas natural , han quedado en la condición de cobertura de la máxima demanda , operando solo en la presencia de los picos de demanda que se presentan en ciertas horas del día en el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional.

La condición de la Central Termoeléctrica Independencia de 25 MW de la Empresa EGESUR, ubicada en las cercanías de la S.E Independencia en Ica, es la de participar en la generación de energía diaria del SEIN, en las horas de máxima demanda, lo que conlleva a que continuamente la maquina este prendiendo y apagando. El continuo arranque de una central termoeléctrica afecta la vida útil de los equipos que la conforman, disminuyendo la probabilidad de la condición de disponibilidad de la máquina.



En la programación y planificación de la operación es necesario conocer, al menos en forma aproximada, cuáles serán los costos de mantenimiento de las unidades de generación termoeléctricas en que se incurrirá en el futuro producto de la operación del presente, para lograr el cumplimiento del objetivo de optimización de la operación del sistema. Por lo general, la necesidad de información se centra en conocer los costos variables de mantenimiento, los costos fijos anuales de mantenimiento y los costos de mantenimiento por arranque.

En estricto, un costo variable es aquel que varía proporcionalmente con el volumen de actividad o nivel de producción -KWh- y que puede ser expresado con un coeficiente estándar por nivel de producción -\$/KWh- (costo operativo). A su vez, un costo fijo, es aquel que no depende del nivel de producción, sino sólo del tiempo entendido como calendario -\$/año- (costo comprometido).

La consideración del momento oportuno de efectuar un tipo específico de mantenimiento en una determinada unidad de generación térmica, depende de la acumulación de cierta cantidad de horas de operación (diferentes a horas calendario), o de la acumulación de un cierto número de arranques, o en otras a una combinación de eventos más o menos complicada que normalmente incluye las dos anteriores. Los trabajos de mantenimiento programado son reconocidos por el COES como una actividad necesaria para mantener las instalaciones en condiciones de disponibilidad, mas no las situaciones de salida de servicio de operación por falla, en lo cual estas última condiciones el COES penaliza a la Empresa Generadora. Es evidente, que los costos de mantenimiento en cualquier actividad industrial (diferente a la generación de energía), no dependen estrictamente del nivel de producción ni estrictamente del tiempo calendario, es decir que, no son absolutamente variables con el nivel de actividad ni son absolutamente fijos que no dependan para nada del mismo.

Pero en nuestro caso ,dada la necesidad de poder determinar cómo influyen el número de arranques en los costos de mantenimiento , que de alguna manera también afecte su condición de disponibilidad y la posibilidad de poder participar en la generación de energía , nos permite formularnos el siguiente problema:

**¿CUAL ES EL EFECTO QUE TIENE EL NUMERO DE ARRANQUES ANUALES EN EL INCREMENTO DEL COSTO DE MANTENIMIENTO DE LA CENTRAL TERMICA A GAS DE 25 MW ?**

**1.2 ANTECEDENTES :**

CORREA POSADA, Carlos (2009) , en su tesis para optar el Grado de Magíster en Ingeniería de Sistemas de la Universidad Nacional de Colombia , resume lo siguiente: El modelo incorpora las principales características de este tipo de plantas que influyen en la programación de la generación, dentro de las cuales se destacan las que representan el comportamiento no lineal asociado a cambios de generación entre un período y otro (rampas), las restricciones temporales que controlan el tiempo en línea y fuera de línea de las máquinas, y las restricciones necesarias para la prestación del servicio de regulación secundaria de frecuencia AGC. El modelo de optimización presentado garantiza una programación óptima de la planta minimizando el número de unidades en línea y el número de arranques programados, lo que representa el mayor reto para la optimización debido a las múltiples combinaciones de unidades de gas y de vapor que se pueden presentar para cumplir con el programa de generación.

DA SILVA SANTOS Renato (2012), en su Informe técnico elaborado para la Empresa PETROBRAS, Brasil, concluye lo siguiente: Las descargas parciales constituyen una valiosa herramienta para el diagnóstico de las grandes maquinas rotatorias lo cual permite evitar roturas innecesarias y acortamiento de su vida útil. El excesivo régimen de arranques y paradas de este tipo de máquinas acelera el deterioro de las mismas, lo cual a quedado demostrado a partir de los resultados obtenidos en esta investigación. Debe existir una adecuada planificación de operación y mantenimiento, para evitar constantes arranques y paradas de los generadores. Los generadores síncronos no deben presentar continuos arranques y paradas para que no afecte el aislamiento de sus enrollados estatóricos y así no comprometan su vida útil.

JIMENEZ CAMPINI Amaya (2002) , en su tesis para optar el Grado de Magíster en Gestión Técnica y Económica en el Sector Eléctrico de la Universidad Pontificia de

Comillas en España , resume lo siguiente: Los costos de arranque son una función habitualmente exponencial del número de horas que la unidad ha sido desacoplada. Para construir esta función es necesario tener los datos del consumo de combustible que se emplea en acoplar la unidad cuando la unidad ha estado parada un diferente número de horas, combustible que por tanto no produce MW que pueden ser ofertados en el mercado. Esta función exponencial debe ser también linealizada. Lo más habitual es emplear una función en escalera que ajuste bien dicha exponencial. La solución adoptada ha sido considerar un determinado número de EOH (Horas Equivalentes de Operación) que modelan los costos de un arranque. Además en el apartado de las restricciones, se verá que las distintas rampas de arranque (frio, templado, caliente) si se han modelizado.

En este caso, este costo de arranque aparece únicamente en la función objetivo como un costo, siempre que el grupo arranque en la hora de análisis. Los costos de parada pretenden reflejar el desaprovechamiento de combustible y el costo de mano de obra durante el proceso. Es un número fijo de EOH.

MOLINA PASTOR, Arnau (2011), en su tesis para optar el título de Ingeniero Mecánico en la Universidad Degli Studi di Padova de Italia, expone : Que se considera si la relación entre el número de horas de funcionamiento y equivalentes el número de arranques / paradas es superior a  $80 \div 100$ , la planta de la base satisfacer carga. Si la relación Que es inferior a  $10 \div 20$ , la planta puede ser considerado de pico. Intermedio define los valores unitarios para la modulación de la producción. Esto significa que, al menos desde el punto de vista de nuevas empresas, la transición de carga base a un ejercicio en la modulación

Necesariamente no implica un cambio de posibles condiciones de funcionamiento, sino también un mayor recurrencia de condiciones transitorias ya preveía. Esta fase es crítica en el ejercicio debido a diversas razones. En primer lugar, Durante esta fase que operan muchos componentes están inactivos en el ejercicio regular. A menudo, la redundancia para estos componentes son inferiores a los de los utilizados en el ejercicio regular, por lo que durante errores de inicio y anomalías pueden causar efectos graves. También, cualquier problema conectado a los sistemas de control y regulación aún más de manifiesto debido a muchas oportunidades de intervención

manual y el valor del factor tiempo. La puesta en marcha puede provocar la sistema opere en condiciones inestables que puede causar el fracaso operación. Por otra parte, si el número de arranques aumenta, dos factores suponen más de importancia: la consumo de vida útil de la planta para cada inicio y su duración y coste. La puesta en marcha es por lo general equivalente a diez horas de funcionamiento a carga nominal. Además, el aumento creciente el número de arranques por año, el asesoramiento a los fabricantes a hacer inspecciones más frecuentes. En cuanto a la duración y el coste, es importante tener en cuenta Que Durante el arranque de la planta consume de combustible, agua y electricidad, pero produce un poco de energía.

RANGEL TIRADO, Pamela (2009) , en su tesis para optar el Grado de Magíster en Gestión en Ingeniería de Control y Automatización del Instituto Politécnico Nacional de México , resume lo siguiente: Durante la operación de una central termoeléctrica en cualquiera de los escenarios de arranque , se da lugar a la reducción de la vida útil del rotor de la turbina, lo cual dependerá de la magnitud en el cambio de temperatura del rotor y de la relación de este cambio y del número de repeticiones o ciclos de calentamiento y enfriamiento al cual es sometido al rotor. Un arranque en caliente se presenta después de que la unidad ha sido suspendida durante un periodo corto, hasta dos días como máximo. Este evento suele suceder después de un paro, cuando se presentan fallas en la central, que impiden la operación normal del sistema.

### **1.3 DESCRIPCION DEL LUGAR DONDE SE HA REALIZADO EL ESTUDIO**

#### **a. DATOS MARCO DE LA EMPRESA :**

- Razón social: Empresa de Generación Eléctrica del Sur S.A.- EGESUR. RUC 20279889208
- Dirección: La Sede Administrativa se encuentra ubicada en Av. Ejército s/n el Centro Poblado Mayor de PARA GRANDE distrito de TACNA, provincia de TACNA, departamento de TACNA. Teléfono: 052-315300.

- Marco legal: En la sesión del Directorio de Electro Perú S.A N° 914 del 16.08.94 se aprueba la Constitución Social de EGESUR. Por acuerdo de la COPRI del 5 de Setiembre de 1994, se autoriza la constitución de EGESUR sobre la base de la Unidad de Negocios Aricota. La Junta al de Accionistas de Electro Perú S.A en el Acta N°60 del 28.09.94 aprueba la constitución de la Empresa de Generación Eléctrica del Sur S.A – EGESUR. Finalmente, EGESUR fue constituida por escritura pública el 11 de Octubre de 1994.

Es una Empresa Estatal de derecho privado. Actualmente en Categoría B.

- Actividades: El objeto principal de EGESUR es dedicarse a las actividades propias de la generación eléctrica para su comercialización dentro de su área de concesión y del Sistema Interconectado Nacional. Potencia Instalada EGESUR, al 31 de diciembre del 2008, posee una potencia instalada de 60.7 MW, de la cual 35.7 MW son generación hidráulica y 25.0 de generación térmica.

- Instalaciones:

La Empresa EGESUR cuenta con las siguientes instalaciones:

Cuadro N° 1 Centrales de Energía-Empresa EGESUR

N°	Nombre	Tipo	Potencia Efectiva(MW)	Ubicación
1	Aricota I	Hidroeléctrica	23.8	Curibaya(Tacna)
2	Aricota II	Hidroeléctrica	11.9	Curibaya(Tacna)
3	Independencia	Termoeléctrica	25	Independencia(Ica)
	TOTAL		60.7	

Fuente: EGESUR

b. DESCRIPCION DE LA CENTRAL TERMICA DE INDEPENDENCIA:

- En el año 2006 la Empresa de Generación Eléctrica del SUR EGESUR analizo el futuro de sus centrales Termoeléctricas ubicadas en la localidad de Calana (Tacna) , y se optó por la conveniencia de trasladar los grupos térmicos hacia una nueva locación en donde pudieran operar con un menor costo de operación. En aquella época (2006) se operaba con Petróleo Residual 6 ( Precio equivalente a la fecha actual de 210 U\$/MWh), con lo cual los costos operativos eran relativamente

elevados y estaban en desventaja con otras instalaciones que operaban con gas natural (Centrales de Santa Rosa, Malacas, Ventanilla y Aguaytía) cuyos costos eran más baratos y podían operar continuamente, a desmedro de la central Térmica de Calana, que debido a sus altos costos había reducido la frecuencia de su programación para el despacho de energía. Realizado los estudios se optó por trasladar todas las instalaciones a la localidad de Independencia (Pisco) a un terreno adyacente a la subestación independencia de 220 KV de propiedad de REP del Perú y reconvertir sus equipos a gas natural, conectándose al ducto de principal de transportadora de Gas del Perú mediante un gasoducto de 4 km. El trabajo se realizó el año 2009 con la Empresa Wärtsilä Finland Oy, entrando en operación comercial el año 2010.

- La Central Termoeléctrica a Gas de Independencia está compuesta por 4 unidades idénticas según las siguientes especificaciones:

Cuadro N° 2 Especificaciones técnicas Central Termoeléctrica Independencia

N°	Parámetro	Detalle
1	Marca	Wartsila
2	Tipo de Combustible	Gas Natural
3	Modelo	18V34SGA2
4	Potencia Efectiva	6.25 MW
5	N° de Cilindros	18 en V

Fuente : EGESUR

#### 1.4 JUSTIFICACIÓN

La generación de energía eléctrica es una de las bases de la infraestructura del país y es uno de los pilares del progreso tecnológico y económico, es por ello que continuamente se desarrollan nuevos procesos e innovaciones que permiten una eficiente generación de energía eléctrica. Justificación de este estudio radica en lo siguiente:

- Es importante porque nos permitirá determinar la influencia de los números de arranques anuales de la Central Termoeléctrica de 25 MW a gas natural del tipo motor de combustión interna en la variación de los costos de mantenimiento, teniendo en

cuenta los procedimientos establecidos para esta actividad por parte del Comité de Operación Económica del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional.

- Permitirá conocer las categorías y escenarios de mantenimiento de una central Termoeléctrica del Perú y la metodología para establecer los escenarios de comportamiento.
- Permitirá establecer una relación existente entre los costos de mantenimiento y el reordenamiento de las centrales de generación de energía, en función a sus gastos operativos.

### **1.5 HIPÓTESIS**

Se plantea la siguiente hipótesis como respuesta al problema planteado : EL EFECTO DEL AUMENTO DEL NUMERO DE ARRANQUES ANUALES EN EL COSTO DE MANTENIMIENTO DE LA CENTRAL TERMICA INDEPENDENCIA DE 25 MW ES QUE ESTE SE INCREMENTA SIGNIFICATIVAMENTE.

### **1.5 OBJETIVOS:**

#### **OBJETIVO GENERAL.**

- Determinar el efecto del número de arranques anuales en el incremento del costo de mantenimiento de la Central Térmica Independencia de 25 MW, teniendo en cuenta el Procedimiento N° 34-2010 del Comité Económico del Sistema Eléctrico.

#### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar las características técnicas operativas y económicas de la Central Térmica Independencia con Gas Natural.
- Establecer el flujo de categorías de mantenimiento y costos asociados según los escenarios de horas de operación.
- Determinar los Costos de Mantenimiento Fijo y Variable de la Central Térmica Independencia según el Procedimiento N° 34-COES.

- Establecer la influencia del número de arranques anuales sobre los Costos de Mantenimiento de la Central Térmica Independencia y su efecto en el reordenamiento del despacho de generación de energía.



# **CAPITULO II:**

# **MARCO TEORICO**

## 2.1 CENTRALES TERMoeLECTRICAS CON MOTORES DE COMBUSTION INTERNA:

### 2.1.1 GENERALIDADES:

#### a. DEFINICION:

Comúnmente llamados grupos electrógenos, es el conjunto de máquinas rotativas, eléctricas y de combustión interna de desplazamiento positivo, acopladas mediante un eje mecánico, capaces de transformar la energía térmica precedente del combustible en energía mecánica en forma de giro del eje, y a su vez esta energía eléctrica en forma de corriente alterna. Permiten suministrar energía eléctrica estándar de forma autónoma a aquellos consumidores que temporal o permanentemente no se encuentren conectados a la red eléctrica de la zona.(Álvarez Flores,2010)

En el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional actúan como unidades de punta para las coberturas de la máxima demanda en horas punta o como unidades de bases en función a sus costos de operación.

Una de las utilidades más comunes de estas unidades es generar electricidad en aquellos lugares donde no hay suministro eléctrico, generalmente zonas apartadas con mínimas infraestructuras y muy poco habitadas. Otro caso sería en locales abiertos de gran concurrencia, hospitales, fábricas, entre otros ambientes, los cuales, a falta de energía eléctrica de red, necesitan de otra fuente alterna para abastecerse.(Álvarez Flores,2010)



Figura N° 1 Central Termoeléctrica con MCI

Fuente: Power Works Cia.

**b. POTENCIA:**

- ✓ La Potencia Instalada: Es aquella potencia relacionada a la capacidad de diseño, tal como ha sido concebida la central de energía. Generalmente la Potencia Instalada no se alcanza durante la operación. (Guevara,2013)
- ✓ La Potencia efectiva, es aquella potencia máxima que realmente puede desarrollar una central de energía, la cual ha sido certificada por órganos competentes. En este el COES realiza los estudios de Potencia Efectiva anualmente, la cual se declara ante el Osinergmin , para los estudios de determinación los precios de potencia y energía.

Para la determinación de la Potencia Efectiva y los rendimientos a cargas parciales de una Central Termoeléctrica en el Perú se hace uso del Procedimiento N° 17-COES-2001, la cual hace uso de las siguientes normas técnicas de referencia, para el caso de los MCI, los cálculos se realizan en función a la norma ISO-3046-1 o las versiones más modernas de la misma norma u otra norma homologa. (Guevara,2013)

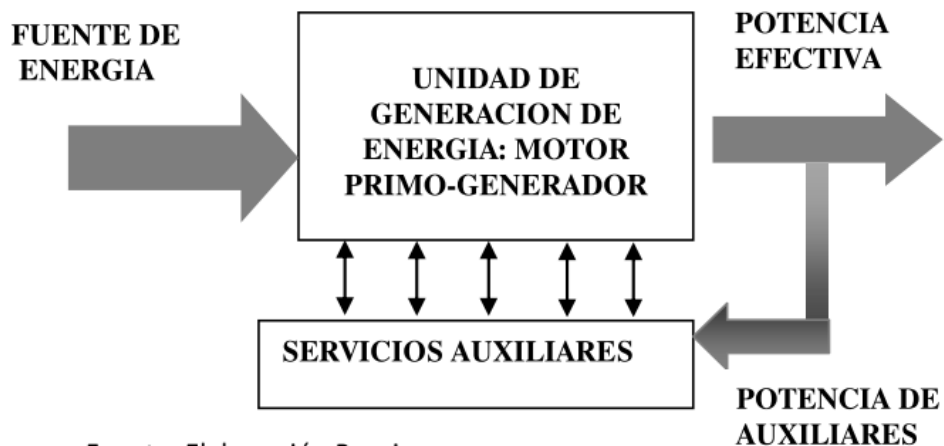


Figura N° 2 Esquema de Generación de Potencia.

Fuente: Elaboración propia

- ✓ La Potencia de sobrecarga, es aquella potencia de sobrecarga suficiente para suministrar el 10% adicional a la potencia continua durante el periodo de tiempo que dure la falla, así como el tiempo de respuesta para tomar la carga

estabilizar la frecuencia y la tensión a partir del momento en que se interrumpa la energía de suministro normal.

- ✓ La Potencia ISO , es aquella Potencia medida en una maquina motriz estipulada por la Norma ISO-3046-1 (Potencia evaluada a una presión de 101.4 kPa , 15 °C y 60% de Humedad Relativa) (Guevara,2013)

### 2.1.2 CLASIFICACION:

#### a. SEGÚN SU CONTROL DE LA OPERACIÓN:

- ✓ Operación automática: Una Planta de generación de energía termoeléctrica es automática cuando opera por si sola realizando cinco funciones:  
Arrancar.  
Proteger.  
Transferir carga.  
Retransferir carga.  
Parar.  
En este caso solo se requiere de supervisión y mantenimiento preventivo. Se utilizan en las centrales de generación de energía conectadas a la red.(CAT,2005)
- ✓ Operación semiautomática: Una operación es semi-automática cuando realiza dos funciones :  
Arrancar.  
Proteger.  
Las demás operaciones se realizan manualmente. Son utilizadas donde el tiempo de transferencia no es primordial.(CAT,2005)
- ✓ Operación manual: Cuando solo realiza la acción de Proteger

#### b. SEGÚN SU DISPONIBILIDAD: Es el tiempo máximo en segundos, necesario para que la central de energía esté en condiciones adecuadas de operación, permitiendo la transferencia y toma de carga. Existen 5 tipos de disponibilidad:

- ✓ Tipo 1: básicamente inmediata (ininterrumpible de 3 a 5 ms.)

- ✓ Tipo 2: 5 sg. máximos.
- ✓ Tipo 3: 15 sg. máximos.
- ✓ Tipo 4: más de 15 sg.
- ✓ Tipo M manual o no automática (no hay tiempo límite)(CAT,2005)

c. **SEGÚN SU ALCANCE DE OPERATIVIDAD:** Es el tiempo en horas en el que una planta de energía debe operar con máxima carga(Potencia efectiva) sin que haya necesidad de recargar combustible:

Existen 3 tipos de operatividad:

- ✓ TOE 2 : (Tiempo de Operación de 2 horas ) , cuando el servicio es muy seguro o necesidad poco critica del usuario.
- ✓ TOE 8 (Tiempo de Operación de 8 horas) :Cuando el servicio normal es seguro o el servicio del usuario es crítico por turno.
- ✓ TOE X: Otros tiempos en horas, como se requiere en la aplicación o código del usuario.

d. **SEGÚN EL TIPO DE ENCENDIDO:** Se tienen los siguientes:

- ✓ Con encendido por explosión: Operan según el ciclo termodinámico Otto, inventado por Nicolaus Otto en 1872. Se caracteriza porque en una primera aproximación teórica, todo el calor se aporta a volumen constante. Se caracteriza porque el encendido de la mezcla se realiza mediante un arco eléctrico o chispazo provocado.(Álvarez Flores, 2010)

El motor convencional del tipo Otto es de cuatro tiempos (4T), aunque en fuera borda y vehículos de dos ruedas hasta una cierta cilindrada se utilizó mucho el motor de dos tiempos (2T). El rendimiento térmico de los motores Otto modernos se ve limitado por varios factores, entre otros la pérdida de energía por la fricción y la refrigeración. La termodinámica nos dice que el rendimiento de un motor alternativo depende en primera aproximación del grado de compresión. Esta relación suele ser entre 6: 1 hasta 12: 1 en la mayoría de los motores Otto modernos. Se pueden utilizar proporciones mayores, como de 12 a 1, aumentando así la eficiencia del motor, pero este diseño requiere la utilización de combustibles de alto índice de octano para evitar el fenómeno de

la detonación, que puede producir graves daños en el motor, como es el caso del motor ciclo Otto con gas natural con numero de octano igual a 130. . La eficiencia o rendimiento medio de un buen motor Otto es de un 30 a un 25%: sólo un poco más de la cuarta parte de la energía calorífica se transforma en energía mecánica. (Cabronero, 2003)

El Funcionamiento es el siguiente:

1° Tiempo de admisión - El aire y el combustible mezclados entran por la válvula de admisión, en motores modernos el combustible es inyectado.

2° Tiempo de compresión - La mezcla aire/combustible es comprimida y encendida mediante la bujía.

3° Tiempo de combustión - El combustible se inflama y el pistón es empujado hacia abajo.

4° Tiempo de escape - Los gases de escape se conducen hacia fuera a través de la válvula de escape.

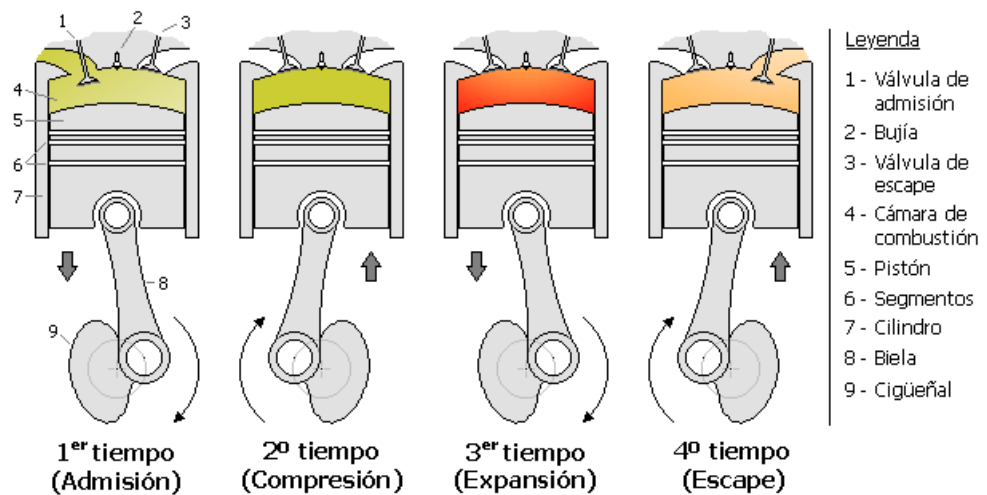


Figura N°3 MCI con Encendido por explosión

Fuente: Combustión Industrial

Hoy en día para optimizar el rendimiento del motor, que va en relación directa con una cantidad de combustible no quemado y por tanto desperdiciado mínima, se usan fundamentalmente dos métodos, a saber, la inyección en lumbrera y la inyección directa.

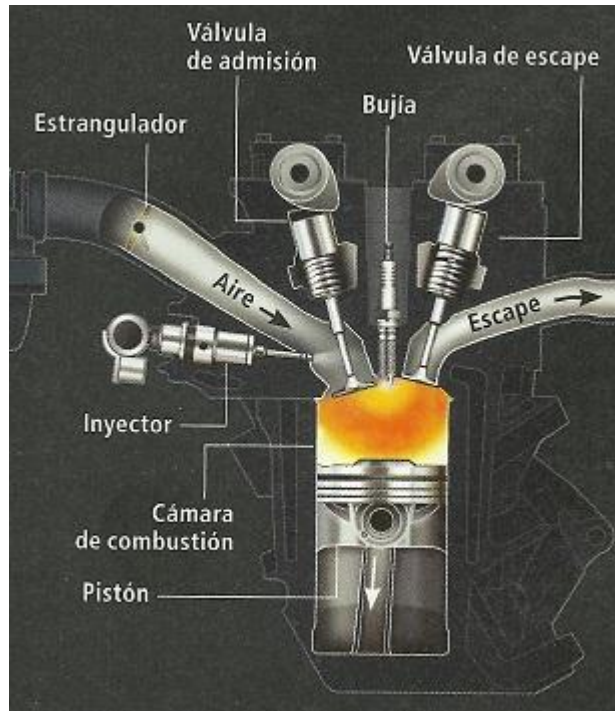


Figura N°4 Encendido por explosión con inyección indirecta  
 Fuente: Revista de Ciencia e Investigación(Univ. de Navarra)

La inyección en lumbrera, que se aprecia en la figura superior, consiste en que el inyector rocía el combustible en la propia corriente de aire, que procede del filtro de aire y que pasa a través del estrangulador. De este modo la mezcla penetra en el cilindro, y una vez comprimida, la chispa de la bujía la inflama. Si queremos aumentar la potencia con este esquema debemos suministrar más cantidad de aire y gasolina, actuando sobre el estrangulador y el inyector. Por su parte, en el mecanismo de inyección directa, el propio inyector introduce a alta presión al combustible en la cámara de combustión, estando ya el aire comprimido, con lo que el combustible se gasifica aun mas y se quema en más plenitud que con el mecanismo de lumbrera, ahorrándose así combustible para una misma potencia entregada. La inyección directa requiere un mayor control que el mecanismo de lumbrera. Se representa este esquema en la segunda imagen.(Bosch,2010)

La tendencia futura consiste en el encendido por compresión de mezcla homogénea, en el cual mientras el pistón asciende se inyectan el aire y el combustible, comprimiéndolos el primero, y así la combustión se arranca sin

necesidad de chispa. De esta manera la mezcla arranca la explosión en muchos puntos diferentes, perdiéndose menos energía en forma de calor, con el consiguiente aumento de rendimiento. Para mayor potencia se podría usar también una bujía. Este mecanismo requiere concienzudos controles mediante sensores, lo que lo hace más difícil de implementar. En la siguiente figura aparece la representación de este esquema de encendido.(Bosch,2010)

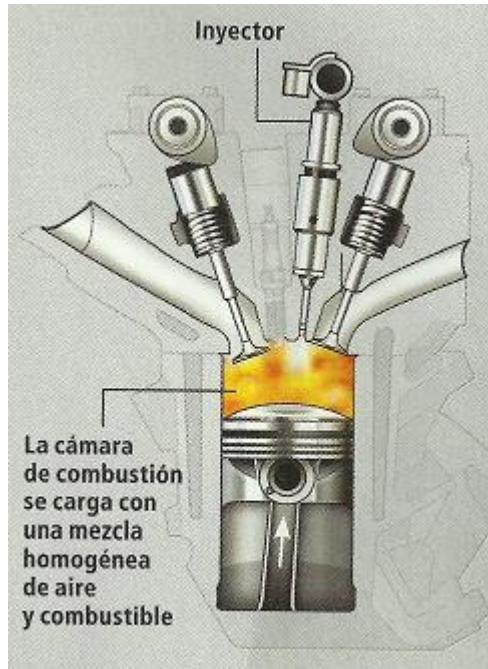


Figura N° 5 Encendido por explosión con inyección directa

Fuente: Revista de Ciencia e Investigación (Univ. de Navarra)

Ahora bien, si lo que queremos es una alta potencia, debemos tener en cuenta que para poder quemar más combustible en un mismo intervalo de tiempo, habremos de aplicar más calor al mismo para poder encenderlo, y esto se consigue inyectando aire a alta presión en el cilindro. Una forma de hacerlo es mediante el turboalimentador o “turbo”, que aprovecha el ímpetu de los propios gases resultantes de la oxidación del combustible para acelerar una turbina solidaria –en el mismo eje- a un compresor, cuyas aspas sirven para acelerar a su vez el aire e inyectarlo a alta velocidad en el cilindro, consiguiéndose un gran volumen de aire comprimido en la cámara de combustión que lógicamente es capaz de entregar más energía térmica al combustible para el quemado de una mayor cantidad del mismo en menos



tiempo –con el consiguiente aumento de potencia-. El inconveniente de este método de encendido es el tiempo de retardo que es indispensable para que los gases de escape logren acelerar la turbina, y por consiguiente son necesarios controles sofisticados en este mecanismo. La ventaja es que se consigue eficiencias del orden de 45 a 50 %. La siguiente figura representa un turboalimentador.(Alvares Flores,2010)

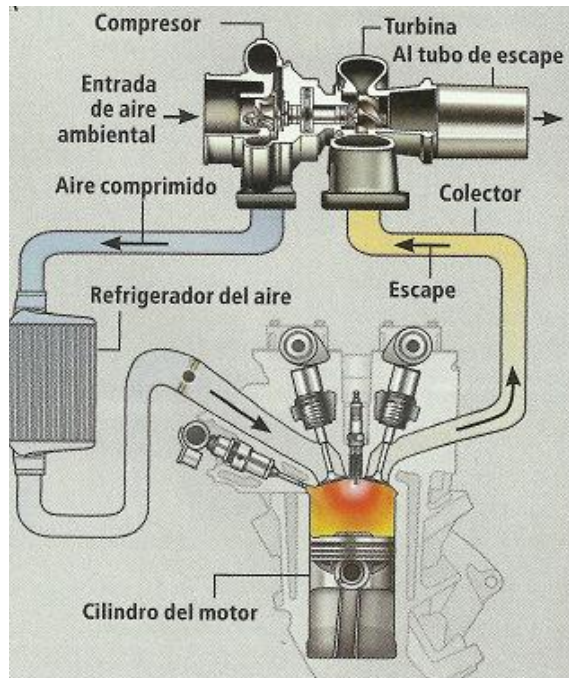


Figura N° 6 Encendido por explosión con inyección y sobrealimentación  
Fuente: Revista de Ciencia e Investigación (Univ. de Navarra)

Dentro de los combustibles que se pueden utilizar tenemos los siguientes:

Cuadro N° 3 Combustibles para M.C.I con encendido por explosión

N°	Combustible	N° de Octano
1	Gas natural Comprimido	130
2	Gas licuado de Petróleo	103
3	Gasohol de 97 Octanos	97
4	Gasohol de 95 Octanos	95
5	Gasohol de 90 Octanos	90
6	Gasohol de 84 Octanos	84

Fuente: Elaboración propia

✓ Con encendido por compresión:

Se basan en el Ciclo Termodinámico Diesel. En teoría, el ciclo diésel difiere del ciclo Otto en que la combustión tiene lugar en este último a volumen constante en lugar de producirse a una presión constante. La mayoría de los motores diésel son asimismo del ciclo de cuatro tiempos, salvo los de tamaño muy grande, ferroviario o marino, que son de dos tiempos. Las fases son diferentes de las de los motores de gasolina. En la primera carrera, la de admisión, el pistón sale hacia fuera, y se absorbe aire hacia la cámara de combustión. En la segunda carrera, la fase de compresión, en que el pistón se acerca. el aire se comprime a una parte de su volumen original, lo cual hace que suba su temperatura hasta unos 850 °C. Al final de la fase de compresión se inyecta el combustible a gran presión mediante la inyección de combustible con lo que se atomiza dentro de la cámara de combustión, produciéndose la inflamación a causa de la alta temperatura del aire. En la tercera fase, la fase de trabajo, la combustión empuja el pistón hacia fuera, transmitiendo la fuerza longitudinal al cigüeñal a través de la biela, transformándose en fuerza de giro par motor. La cuarta fase es, al igual que en los motores Otto, la fase de escape, cuando vuelve el pistón hacia dentro.(Álvarez Flores,2010)

Algunos motores diésel utilizan un sistema auxiliar de ignición para encender el Combustible al arrancar el motor y mientras alcanza la temperatura adecuada. La eficiencia o rendimiento (proporción de la energía del combustible que se transforma en trabajo y no se pierde como calor) de los motores diésel dependen, de los mismos factores que los motores Otto, es decir de las presiones (y por tanto de las temperaturas) inicial y final de la fase de compresión con un valor de 30 a 35 %.

Este valor se logra con un grado de compresión entre 13: 1 hasta 20 a 1 Por ello es necesaria una mayor robustez, y los motores diésel son, por lo general, más pesados que los motores Otto. Esta desventaja se compensa con el mayor rendimiento. (Cabronero,2003)

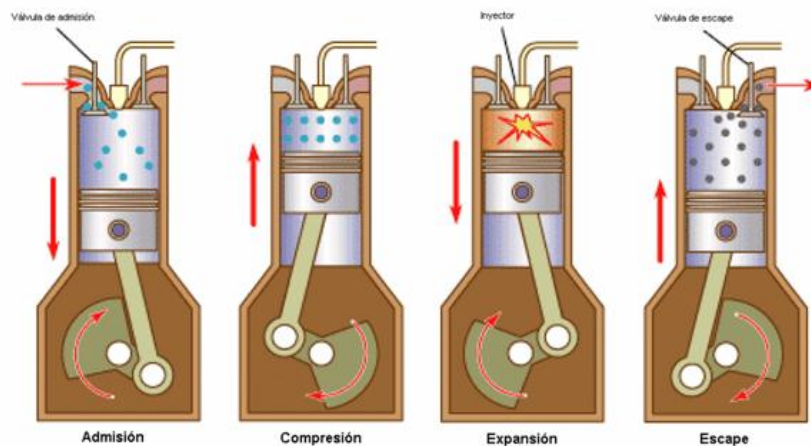


Figura N° 7 MCI con Encendido por compresión

Fuente: Ingeniería Termodinámica (Postigo)

**e. SEGÚN EL NIVEL DE TENSION:**

Sólo será necesario un grupo trifásico (380 V) si es necesario hacer funcionar aparatos que necesiten corriente trifásica (motores grandes, bombas potentes, etc.). Si no es así, el grupo debe ser monofásico (220V).

Los grupos electrógenos convencionales normalmente están configurados con un sistema trifásico de generación. Se dispone de tres fases independientes, llamadas "R", "S" y "T", y un borne neutro llamado comúnmente "N". En este esquema se pueden conectar cargas que requieran las tres fases simultáneamente más el neutro (ej: motores eléctricos) o bien cargas que requieran sólo una de las tres fases más el neutro (ej: iluminación en general). En este último caso se podrán conectar a cualquiera de las tres fases pero se deberá tener especial atención en conectar igual cantidad de cargas en cada una de las tres fases, lo que se conoce comúnmente como "equilibrio de fases". Si solamente se requiere el grupo electrógeno para alimentar una única carga monofásica, se configurará el generador especialmente en este modo, donde sólo se dispondrá de una única fase y un neutro. El grupo electrógeno en éste último caso tendrá una sensible disminución de la potencia capaz de suministrar. (Martinez,2007)

**f. SEGÚN SU TAMAÑO:** Según lo establecido por la Norma ISO 3046-1 las centrales termoeléctricas con motores de combustión interna se clasifican de la siguiente manera:

- ✓ Micro centrales termoeléctricas con MCI:

De 1 HP hasta 10 KW

- ✓ Pequeñas centrales termoeléctricas con MCI:

Más de 10 KW hasta 100 KW

- ✓ Medianas centrales termoeléctricas con MCI:

Mas de 100 KW hasta 1,000 KW

- ✓ Grandes centrales termoeléctricas con MCI

Mayores a 1 MW hasta 100 MW.

### **2.1.3 DENOMINACION DE LA POTENCIA COMERCIAL:**

Los rangos de potencia de los conjuntos generadores las publican los fabricantes según los aspectos constructivos de cada uno de ellos. Estos rangos describen las condiciones máximas permisibles de carga de un conjunto generador. El conjunto generador ofrece un desempeño y vida aceptables (tiempo entre reparaciones) cuando se aplica de acuerdo con las capacidades publicadas. También es importante operar los conjuntos generadores a una carga mínima suficiente para lograr las temperaturas normales y quemar apropiadamente el combustible. Es recomendable que un conjunto generador se opere a un mínimo del 30% de su capacidad mostrada en la placa de datos.(Cummins,2011)

#### **a. RANGO DE POTENCIA EN STAND BY:**

La capacidad de potencia en Standby se aplica para la generación de energía eléctrica de emergencia donde la energía se suministra por la duración de la interrupción de energía normal. Éste no dispone de la capacidad de sobrecarga sostenida (equivalente a Potencia de Paro de Combustible de acuerdo con ISO3046, AS2789, DIN6271 y BS5514). Esta capacidad se aplica en instalaciones a las que les da servicio una fuente de servicio público normal confiable. Esta clasificación sólo es aplicable a cargas variables con un factor de carga promedio de 70 por ciento durante 24 horas de la capacidad Standby por un máximo de 200 horas de operación por año. En instalaciones donde la operación es probable que exceda las 200 horas por año a carga variable o 25 horas por año al 100%

de la capacidad, la capacidad de potencia primaria deberá ser aplicada. La capacidad Standby sólo es aplicable en emergencia y Standby donde el conjunto generador sirve como respaldo a la fuente de servicio público normal. Con esta capacidad no se permite la operación sostenida en paralelo con el servicio. Para las aplicaciones que requieran una operación sostenida en paralelo con el servicio, debe utilizarse la capacidad de potencia primaria o de carga base.(Cummins,2011)

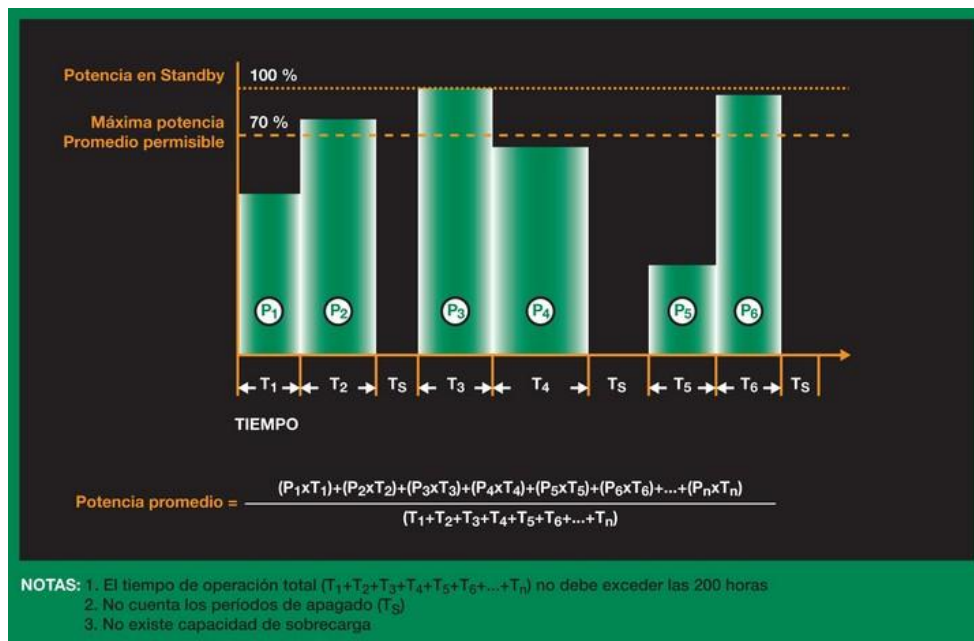


Figura N°8 Diagrama de carga para Potencia en stand by.

Fuente: Sullair

b. RANGO DE POTENCIA PRIME:

La capacidad de potencia primaria o prime se aplica cuando se suministra energía eléctrica en lugar de la energía comprada comercialmente. El número de horas de operación permisibles por año es ilimitado para aplicaciones de carga variable pero está limitada para aplicaciones de carga constante como se describe enseguida. (Equivalente a la Potencia Primaria de acuerdo con ISO8528 y Potencia de Sobre-Carga de acuerdo con las Normas ISO3046, AS2789, DIN6271 y BS5514). Se tiene la siguiente clasificación:

✓ POTENCIA PRIME CON TIEMPO DE OPERACIÓN ILIMITADO:

La potencia primaria está disponible para un número ilimitado de horas de operación al año en aplicaciones de carga variable. Las aplicaciones que

requieren de la operación en paralelo con algún servicio público con carga constante están sujetas a limitaciones de tiempo de operación. En aplicaciones de carga variable, el factor de carga promedio no debe exceder del 70 por ciento durante 24 horas de la Capacidad de Potencia Primaria. Se dispone de una capacidad de sobrecarga del 10 por ciento por un periodo de 1 hora en un periodo de operación de 12 horas, pero no debe exceder de 25 horas al año. (Cummins,2011)

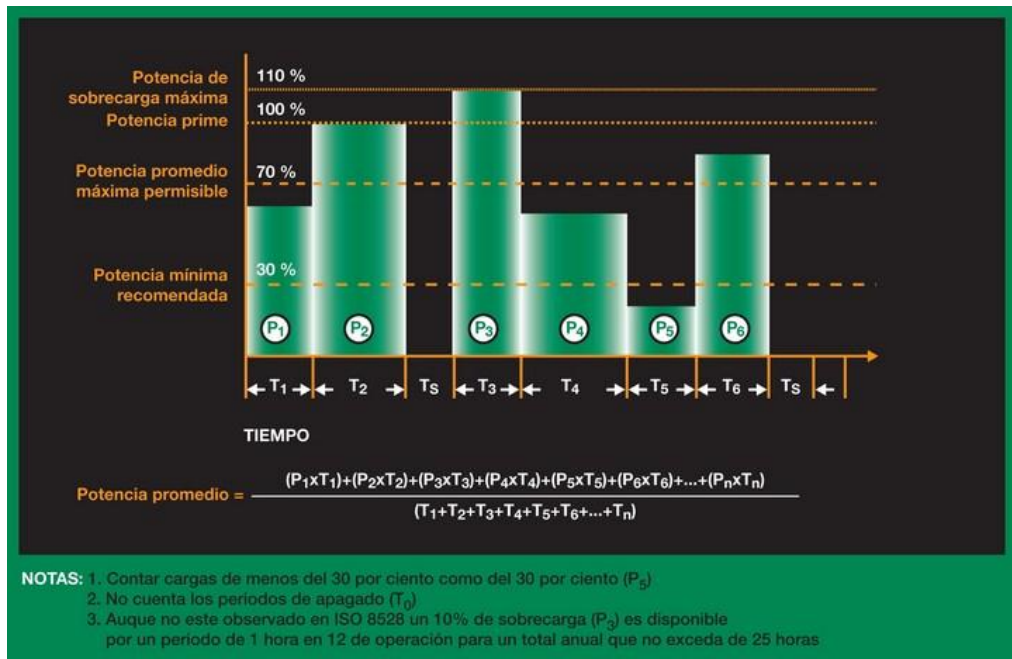


Figura N°9 Diagrama de carga para Potencia prime con tiempo de operación ilimitado

Fuente: Sullair

✓ POTENCIA PRIME CON TIEMPO DE OPERACIÓN LIMITADO :

La potencia primaria está disponible para un número limitado de horas de operación al año en aplicaciones de carga constante como la intermitente, reducción de carga, rasurado de picos y otras aplicaciones que normalmente involucran la operación en paralelo con los servicios públicos. Los conjuntos generadores pueden operar en paralelo con la fuente de servicio público a niveles de potencia que no excedan la Capacidad de Potencia Primaria. Debe hacerse notar que la vida del motor se reduce en la operación de carga alta constante. El tiempo de funcionamiento total de una capacidad de Potencia Primaria no debe superar las 500 horas por año. (Cummins,2011)

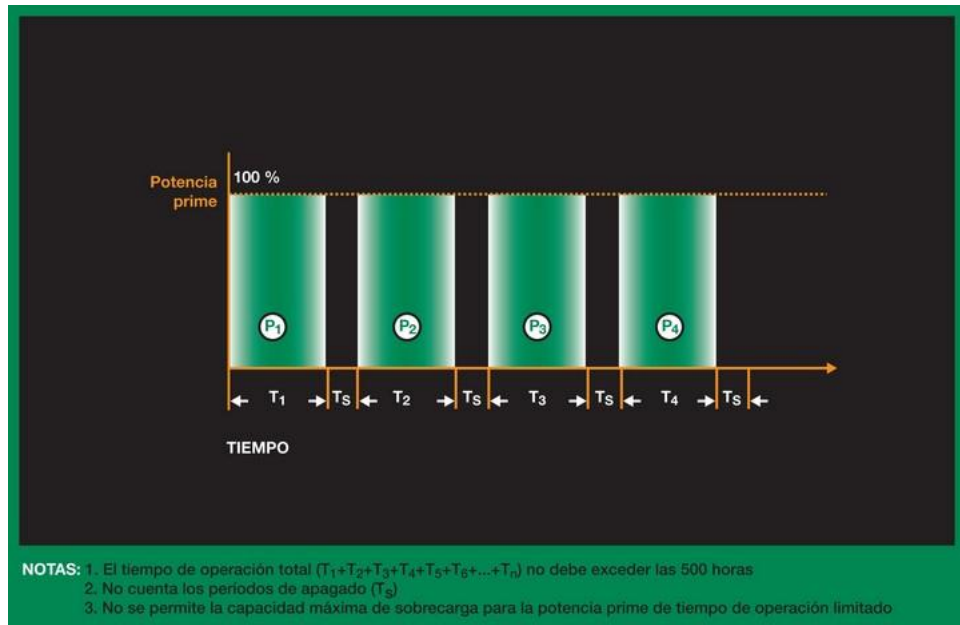


Figura N°10 Diagrama de carga para Potencia prime con tiempo de operación limitado

Fuente: Sullair

✓ POTENCIA PRIME COMO CARGA BASE:

La capacidad de potencia de carga base se aplica para suministrar potencia continuamente a una carga hasta el 100 por ciento de la capacidad base por horas ilimitadas. En esta capacidad no se dispone de capacidad de sobrecarga sostenida (equivalente a Potencia Continua de acuerdo a la Norma ISO8528, ISO3046, AS2789, DIN6271 y BS5514). Esta capacidad se aplica en la operación de carga base del servicio público. En estas aplicaciones, los conjuntos generadores se operan en paralelo con una fuente de servicio público y se operan bajo cargas constantes por periodos prolongados.(Cummins,2011)

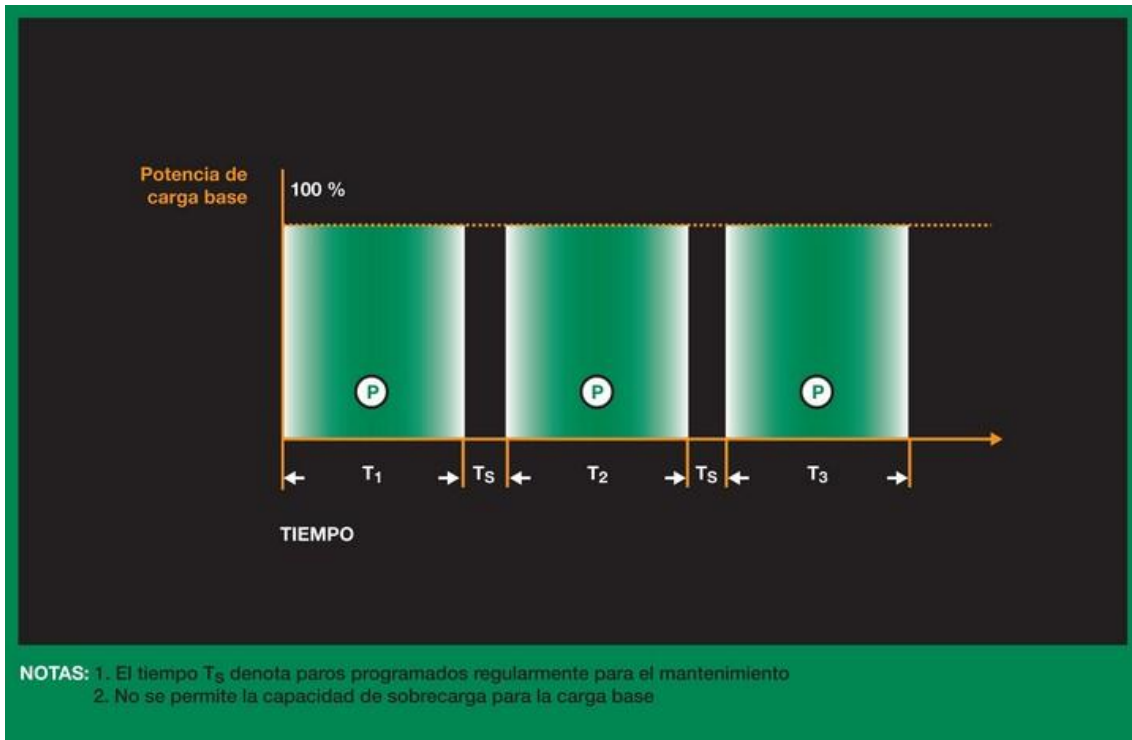


Figura N°11 Diagrama de carga para Potencia prime con carga base

Fuente: Sullair

#### 2.1.4 TIPOS Y CAPACIDADES DE LA GENERACION DE ENERGIA:

Los sistemas de generación de energía con motores de combustión interna en el sitio se pueden clasificar por el tipo y la capacidad del equipo de generación.

El equipo de generación se clasifica usando las capacidades stand by, primaria o prime y continúa. Las definiciones de las capacidades son importantes para entender cuando aplicar el equipo.

El tipo del sistema de generación en el sitio y la capacidad apropiada a usar se basa en la aplicación.(CAT,2005)

##### a. SEGÚN LA CAPACIDAD EN STAND BY:

###### ✓ SISTEMA DE EMERGENCIA:

Los sistemas de emergencia generalmente se instalan según se exijan para la seguridad pública y sean obligatorios por ley. Típicamente están pensados para proporcionar energía eléctrica e iluminación por periodos cortos para tres propósitos: permitir una evacuación segura de edificios, para equipo de apoyo a



la vida y crítico para gente vulnerable o para sistemas de comunicaciones críticos e instalaciones usadas para seguridad pública. Los requisitos del código nacional de electricidad típicamente especifican la carga mínima del equipo al que se le va a dar servicio.(CAT,2005)

✓ SISTEMA STAND BY EXIGIDO LEGALMENTE:

Los sistemas Standby legalmente exigidos, generalmente se instalan como lo ordenan los requisitos legales para la seguridad pública. Estos sistemas típicamente están pensados para proporcionar energía e iluminación por periodos cortos donde son necesarios para evitar peligros o para facilitar las operaciones de combate de incendios. Los requisitos del código normalmente especifican la carga mínima del equipo al que se le va a dar servicio(CAT,2005)

✓ SISTEMA STAND BY OPCIONAL:

Los sistemas Standby opcionales generalmente se instalan donde la seguridad no está en riesgo, pero la pérdida de energía podría causar una pérdida económica comercial o de ingresos, interrumpir un proceso crítico o causar una Inconveniencia o incomodidad. Estos sistemas típicamente se instalan en centros de datos, granjas, edificios comerciales e industriales y residencias. Al propietario del sistema se le permite seleccionar las cargas que se conectaran al sistema. Además de proporcionar una fuente de energía Standby en caso de la pérdida de un suministro de energía normal, los sistemas de generación en-sitio también se usan para los siguientes propósitos.(CAT,2005)

b. SEGÚN LA CAPACIDAD PRIME:

✓ SISTEMA CON POTENCIA PRIMARIA:

Las instalaciones de potencia primaria usan la generación en sitio en lugar de un suministro de red pública, típicamente donde no se dispone de la energía de servicio. Un sencillo sistema de energía primaria utiliza cuando menos dos conjuntos generadores y un interruptor de transferencia para transferir el suministro a las cargas entre ellos. Uno u otro de los conjuntos generadores opera continuamente con una carga variable y el segundo conjunto generador

sirve como respaldo en caso de una falla y para permitir el tiempo muerto para el mantenimiento requerido. Un reloj de conmutación entre el interruptor de transferencia alterna el conjunto generador líder a un intervalo predeterminado.

✓ SISTEMA PARA PARA RASURADO DE PICOS:

Las instalaciones para el rasurado de picos utilizan la generación en-sitio para reducir o allanar los picos de electricidad con el propósito de ahorrar dinero en los cargos por demanda de energía. Los sistemas de rasurado de picos requieren de un controlador que arranque y opere el generador en-sitio en los momentos apropiados para allanar las demandas pico del usuario. La generación instalada para propósitos Standby también puede usarse para el rasurado de picos.(CAT,2005)

✓ SISTEMA PARA REDUCCION DE LA TARIFA ELECTRICA:

Las instalaciones para reducción de la tarifa usan generación en-sitio de acuerdo con los convenios de la tarifa de energía eléctrica con los servicios de electricidad públicos. A cambio de tarifas de energía favorables el usuario conviene operar los generadores y asume una cantidad de carga (kW) especificada por año. La generación instalada para propósitos de Standby también puede usarse para la reducción de tarifa(CAT, 2005)

c. SEGÚN LA CAPACIDAD CONTINUA:

✓ SISTEMA COMO CARGA BASE :

Las instalaciones para carga de base continua usan generación en-sitio para suministrar energía (kW) constante típicamente por medio de equipo de interconexión con una red de servicio. Estas instalaciones normalmente son de los servicios de electricidad o están bajo su control.(Cummins,2011)

✓ SISTEMA DE COGENERACION:

A menudo, la generación para carga de base continua se usa en la aplicación de Co-Generación. Puesto simplemente, la Co-Generación utiliza tanto la generación de electricidad directa como el calor de los desechos del escape para

sustituir la energía suministrada por el servicio público. El calor de desecho se captura y cualquiera de los dos se usa directamente o se convierte en electricidad.(Cummins,2011)

**2.1.6 PARAMETROS OPERACIONALES:**

- a) **POTENCIA EFECTIVA DEL GENERADOR:** Esta referida a la potencia medida en los bornes del generador, y evaluado según la siguiente ecuación:

$$P_{ef} = v * i * \cos\theta * \sqrt{3} \dots \dots \dots (1)$$

Dónde:

v = Tensión de fase en voltios

i = Corriente de línea en amperios.

cosθ = Factor de Potencia del grupo electrógeno (valor entre 0.85 a 0.9 , según el fabricante)

- b) **POTENCIA SUMINISTRADA AL MOTOR DE COMBUSTION INTERNA:** Es aquella potencia térmica que se suministra a través del combustible a los cilindros del motor de combustión interna. Esta potencia es función del flujo del combustible y su poder calorífico inferior a través de la reacción de combustión. Se evalúa según la siguiente ecuación:

$$P_{sum} = \dot{m}_c * PCI \dots \dots \dots (2)$$

$\dot{m}_c$  = Flujo del combustible.

PCI = Poder calorífico inferior del combustible

- c) **EFICIENCIA DE PLANTA:**

La eficiencia de planta compara la potencia eléctrica efectiva generada por el generador eléctrico y la potencia térmica suministrada por el combustible a los cilindros del motor de combustión interna. Se evalúa según la siguiente ecuación:

$$\eta_{planta} = \frac{P_{ef}}{P_{sum}} * 100 \% \dots \dots \dots (3)$$

Se tiene el siguiente esquema de conversión de energía:

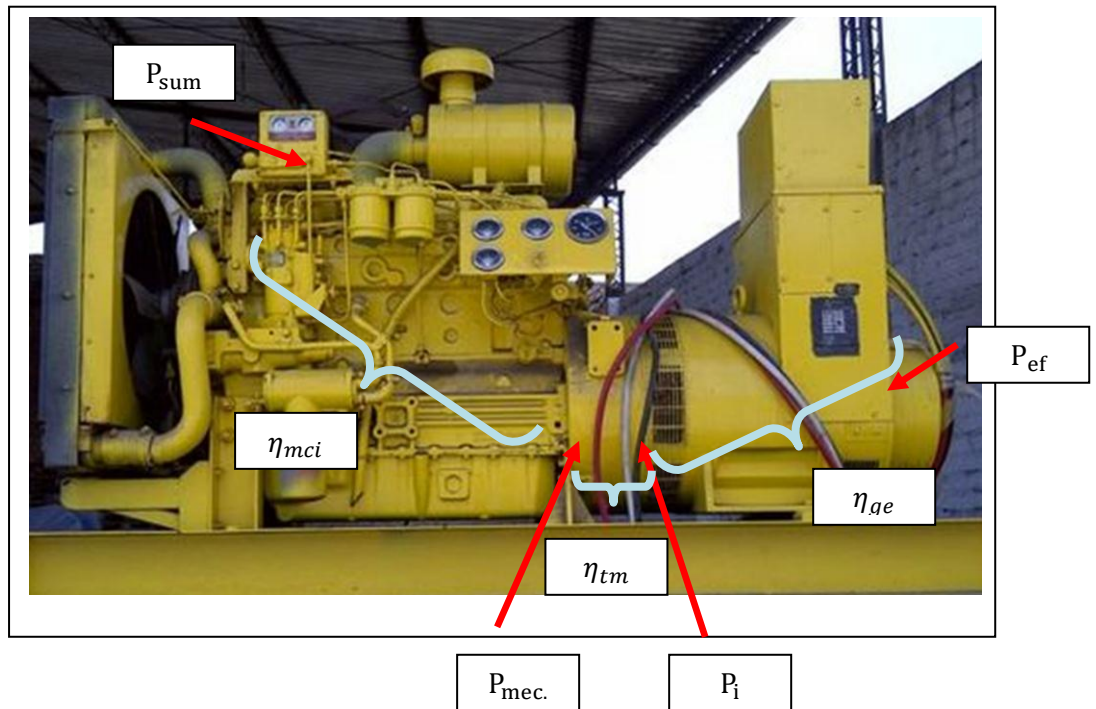


Figura N° 12 Potencia y rendimientos de una Central Termoeléctrica con MCI  
Fuente: Westfalia

- ✓ **EFICIENCIA DEL MOTOR DE COMBUSTION INTERNA:** Evalúa el grado de aprovechamiento de la potencia térmica suministrada por el combustible la cual es transformada en potencia mecánica o Potencia al eje a la salida del motor de combustión interna. Se evalúa con la siguiente ecuación:

$$\eta_{mci} = \frac{P_{mec}}{P_{sum}} * 100 \% \dots \dots \dots (4)$$

Para distintos tipos de motores de combustión interna tenemos la eficiencia es:

Para motores con encendido por explosión con aspiración natural: < 25 a 30 %>

Para motores con encendido por compresión con aspiración natural: < 30 a 35 %>

Para motores sobrealimentados I: < 45 a 50 %>

- ✓ **EFICIENCIA DE LA TRANSMISION MECANICA:** Evalúa el grado de transformación de la potencia mecánica o potencia al eje a la salida del motor de combustión interna térmica a potencia entrante al generador eléctrico, esta eficiencia es función del tipo de acoplamiento mecánico que se tiene, y se presenta por fricción entre elementos metálicos con su correspondiente disipación de calor.(Rovira de Antonio,2015)

Se evalúa con la siguiente ecuación:

$$\eta_{tm} = \frac{P_i}{P_{mec}} * 100 \% \dots \dots \dots (5)$$

$\eta_{tm}$  , varía entre 98 a 99 %

- ✓ **EFICIENCIA DEL GENERADOR ELECTRICO:** Evalúa el grado de aprovechamiento de la potencia recibida por el generador eléctrica, la cual se transforma en potencia eléctrica efectiva. Las pérdidas se dan el devanado del cobre, núcleo o hierro, fricción en rodamientos entre otras. (Rovira de Antonio,2015)

Se evalúa con la siguiente ecuación:

$$\eta_{ge} = \frac{P_{ef}}{P_i} * 100 \% \dots \dots \dots (6)$$

$\eta_{ge}$  , varía entre 88 a 92 % según la tecnología y antigüedad de la maquina generadora.

- ✓ Finalmente la eficiencia de planta también se puede evaluar con la siguiente ecuación:

$$\eta_{\text{planta}} = \eta_{\text{ge}} * \eta_{\text{tm}} * \eta_{\text{mci}} \dots \dots \dots (7)$$

d) **TASA DE CALOR O HEAT RATE:** Es una parámetro técnico que permite comparar el flujo másico de combustible con la potencia efectiva generada por la central termoeléctrica, se le conoce también como consumo específico efectivo. El valor del Heat Rate eficiente técnicamente es aquel valor menor de un conjunto de valores.(Guevara,2013)

Se evalúa con la siguiente ecuación:

$$\text{Heat Rate} = \frac{\dot{m}_c}{P_{\text{ef}}} \dots \dots \dots (8)$$

Se tienen los siguientes valores del Heat Rate para Centrales Termoeléctricas con MCI pertenecientes al Sistema Eléctrico Interconectado Nacional:

Cuadro N° 4 Heat Rate para Centrales Termoeléctricas con MCI

N°	Nombre	Combustible	Heat Rate	Unidades
1	Independencia	Gas Natural	8.776	MMBTU/MWh
2	Piura	Biodiesel BD 5	0.253	Kg/KWh
3	Shougesa	Mezcla BD5+Bunker 6	0.220	Kg/KWh
4	Tumbes	Bunker 6	0.210	Kg/KWh
5	Mollendo	Petróleo Residual 500	0.211	Kg/KWh

Fuente: OSINERGMIN

e) **COSTOS DE OPERACIÓN DE UNA CENTRAL TERMoeLECTRICA:** Los costos marginales o costos de operación o costos variables totales se calculan a partir de los costos variables relacionados directamente con la energía producida por cada unidad termoeléctrica. Los costos variables se descomponen en Costos Variables Combustible (CVC) y Costos Variables No Combustible (CVNC). (Guevara,2013)

$$C. V. T = CVC + CVNC \dots \dots (9)$$

Es importante la determinación de este valor para una central termoeléctrica , ya que su valor le permitirá obtener el orden de despacho dentro de todas las centrales de

generación pertenecientes al Sistema Eléctrico Interconectado Nacional y a su vez le permitirá estar en la condición de operación o reserva.

- f) **COSTO VARIABLE COMBUSTIBLE CVC:** Según la normativa eléctrica peruana , se le define al costo relacionado al consumo de combustible utilizado durante la operación de la central termoeléctrica. Es igual al producto del Heat Rate a plena carga con el precio unitario del combustible declarado a OSINERGMIN (estipulado según el Informe N° 117-2014 GART/OSINERGMIN “Determinación de los precios de barra valido para el periodo Mayo 2014 a abril 2015”) (Enersur,2013)

$$C. V. C = \text{Heat Rate} * \text{Precio Unitario del Combustible} \dots (10)$$

Se tienen los siguientes valores del CVC para Centrales Termoeléctricas con MCI pertenecientes al Sistema Eléctrico Interconectado Nacional:

Cuadro N° 5 CVC para Centrales Termoeléctricas con MCI

N°	Nombre	Combustible	CVC	Unidades
1	Independencia	Gas Natural	22.66	U\$/MWh
2	Piura	Biodiesel BD 5	296.57	U\$/MWh
3	Shougesa	Mezcla BD5+Bunker 6	249.09	U\$/MWh
4	Tumbes	Bunker 6	252.11	U\$/MWh
5	Mollendo	Petróleo Residual 500	253.64	U\$/MWh

Fuente: OSINERGMIN

- g) **COSTO VARIABLE NO COMBUSTIBLE CVNC:** Representa el costo, no asociado directamente al combustible, en el cual incurre la unidad termoeléctrica por cada unidad de energía que produce. Para evaluar dicho costo se determina la función de costo total de las unidades termoeléctricas (sin incluir el combustible) para su régimen de operación esperado; a partir de esta función se deriva el CVNC como la relación del incremento en la función de costo ante un incremento de la energía producida por la unidad. (ISO,2002)

Dentro de los rubros que la conforman tenemos los siguientes:

$$C.V.N.C = C..M + OTROS COSTOS .....(11)$$

✓ **COSTO DE MANTENIMIENTO:**

Es la parte de los costos de mantenimiento de una unidad que guardan proporción directa con la producción de dicha unidad, y que se obtiene mediante la metodología descrita en el procedimiento PR-N° 34.

$$CM = \text{costo de Mantenimiento} \left( \frac{U\$}{MWh} \right) \dots (12)$$

✓ **COSTO VARIABLE DE OPERACIÓN NO COMBUSTIBLE Y OTROS COSTOS:**

Es el costo variable relacionado a consumibles agregados al proceso de combustión, por consideraciones técnicas de la unidad, y que guardan proporción directa con la producción de dicha unidad. Entre éstos se encuentra el aceite lubricante en las unidades reciprocantes, la inyección de agua o vapor en las unidades turbogases entre otros. La función de consumo y los costos de los agregados serán sustentados por el generador y aprobados por la DOCOES.

$$CVOC_i^a = \sum_j ga_{i,j}^t * ca_{i,j} \dots \dots \dots (13)$$

$ga_{i,j}^t$  es el consumo de la unidad i del agregado j en t (gal/kwh, m3/kwh,etc)

$ga_{i,j}^t = f_{i,j}(P_i)^t$  es la función de potencia medida.

$ca_{i,j}$  = es el costo del agregado en S/ galon.

**2.2 COMPONENTES:**

**2.2.1 MOTOR DE COMBUSTION INTERNA:**

El motor representa la fuente de energía mecánica para que el alternador gire y genere electricidad. Existe dos tipos de motores: motores de encendido por explosión y de encendido por compresión. Generalmente los motores diésel son los más utilizados en los grupos electrógenos por sus prestaciones mecánicas, ecológicas y económicas. En el Perú desde el año 2010, se cuenta con la Central Termoeléctrica Independencia acoplada al Sistema Eléctrico Interconectado Nacional, operando con gas natural como combustible. El motor que accionara el generador eléctrico es un motor de combustión



interna de ciclo termodinámico Otto de 4 tiempos, de inyección mecánica ó inyección electrónica, el cual ha sido diseñado para operar grupos electrógenos, y está dotado de todos los elementos necesarios para una óptima operación para un suministro de potencia.(Gansean, 2010)

Está compuesto de los siguientes sistemas y componentes:

**a. COMPONENTES:**

✓ **CULATA :**

La culata, tapa de cilindros, cabeza del motor o tapa del bloque de cilindros es la parte superior de un motor de combustión interna que permite el cierre de las cámaras de combustión.

Si el motor de combustión interna es de encendido provocado (motor Otto), lleva orificios roscados donde se sitúan las bujías. En caso de ser de encendido por compresión (motor diésel) en su lugar lleva los orificios para los inyectores.

La culata se construye en hierro fundido, aluminio o en aleación ligera y se une al bloque motor mediante tornillos y una junta: la junta de culata. Se construye con estos elementos porque el sistema de enfriamiento debe ser rápido, y estos elementos se enfrían rápidamente.

Cuando la culata está dañada emite un sonido parecido a un golpeteo ligero y un poco fuerte en la cabeza. No son los busos ni las punterías. Cuando el motor está con los niveles correctos de aceite, los busos y punterías emiten un sonido parecido a un golpeteo continuo pero muy ligero y silencioso.(Ganesa,2010)



Figura N° 13 Culata de un MCI  
Fuente: Manual del Automóvil (Arias Paz)

✓ **MÚLTIPLE DE ADMISIÓN:**

El múltiple de admisión también interviene en la mezcla y atomización del combustible. Su función principal es distribuir la mezcla aire combustible en forma equitativa a cada cilindro. Para motores con encendido por explosión, toda el gasohol que suministra el carburador es atomizada adecuadamente. Parte de ella se desplaza en forma líquida adherida a la superficie de los ductos. Un buen múltiple de admisión ayuda a vaporizar y atomizar el combustible. El largo y la forma del múltiple de admisión influye en el desempeño de un motor. La eficiencia de admisión depende en buena parte de los pasajes del múltiple. Utilizando fenómenos naturales, cuando un gas se desplaza velozmente dentro de un tubo, el múltiple de admisión termina por homogeneizar la mezcla que llega al cilindro. Un múltiple de admisión con pasajes de poco diámetro permite generar alta potencia de motor a bajas revoluciones, en cambio, si al mismo motor se le instala un múltiple con pasajes de mayor diámetro la misma potencia se obtendrá a mayor número de revoluciones. (Arias Paz, 2010)



Figura N° 14 Colector de admisión de un MCI  
Fuente: Perú GNC

✓ **MÚLTIPLE DE ESCAPE:**

Esta pieza es algo más que un conjunto de conductos que hacen converger los gases quemados a un tubo único dotado de un platillo de acople donde se une el tubo de escape. Lo primero que debe cumplir el múltiple de escape es tener

suficiente resistencia a la corrosión para ser duradero a las altas temperaturas de funcionamiento, lo que generalmente se logra con un proceso de aluminación, silicación, cromización o la combinación de estos procesos sobre un tubo de acero, o bien utilizando hierro fundido aleado, además debe impedir un elevado enfriamiento de los gases calientes, por eso, es común que sean de paredes metálicas gruesas. La forma y longitud de los tubos del múltiple de escape pueden jugar un papel notable a la hora de favorecer la limpieza del cilindro, y su diseño en particular está relacionado con las características del motor.(Arias Paz,2010)

✓ **ARBOL DE LEVAS:**

Es un mecanismo formado por un eje en el que se colocan distintas levas, que pueden tener distintas formas y tamaños, y están orientadas de diferente manera, para activar diferentes mecanismos a intervalos repetitivos, como por ejemplo unas válvulas, es decir constituye un temporizador mecánico cíclico, también denominado Programador mecánico.

En un motor controla la apertura y el cierre de las válvulas de admisión y escape, para desplazar las válvulas de sus asientos se utilizan una serie de levas, tantas como válvulas tenga el motor. Dichas levas van mecanizadas en un eje, con el correspondiente ángulo de desfase para efectuar la apertura de los distintos cilindros, según el orden de funcionamiento establecido.(Arias Paz,2010)



Figura N° 15 Árbol de levas  
Fuente: Manual del Automóvil (Arias Paz)

✓ **POLEA DEL ARBOL DE LEVAS:**

Esta polea es la que esta enlazada con la del cigüeñal con la banda de distribución para que tengan una sincronización y estén a tiempo tanto los pistones como las válvulas y estos no golpeen entre si, esta polea de árbol de levas tiene como dientes de engrane para acoplarse a la banda de distribución(Arias Paz,2010)



Figura N° 16 Polea de árbol de levas  
Fuente: Manual de fallas en motores

✓ **BALANCINES:**

Estos elementos sirven de enlace entre el árbol de levas y las válvulas para realizar la apertura y cierre de las mismas. Su forma y disposición en el motor está en función del sistema de distribución adoptado por el fabricante del mismo. Los elementos empleados En unos casos el eje de giro de los balancines puede estar en su centro, y en otros puede estar en un extremo de la palanca. En el primer caso se denominan balancines basculantes y en el segundo balancines oscilantes.(Ganesan, 2010)

El tipo de balancín basculante es el normalmente utilizado cuando el árbol de levas se sitúa en el bloque del motor. El tipo de balancines oscilantes o semibalancines se emplean cuando el árbol de levas se sitúa en la culata de los cilindros reciben el nombre de: taqués, varillas empujadoras y balancines. Uno y otro tipo de balancines se fabrican de acero, mediante fundición y su conjunto

va montado sobre un eje denominado eje de balancines, de forma que cada balancín lleva un cojinete antifricción o un rodamiento de agujas para facilitar el movimiento basculante del mismo y reducir el desgaste por rozamiento. (Arias Paz,2010)

En algunos motores es de chapa de acero estampada y pivote sobre una rotula.

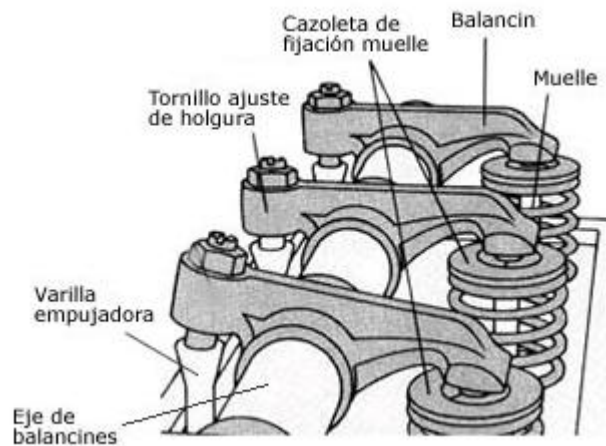


Figura N° 17 Tren de balancines  
Fuente: ECURED

✓ **VALVULAS :**

**VALVULA DE ADMISION:** La de admisión, como lo dice su nombre admite aire a la cámara de combustión, esta para que no se fugue el aire tiene un movimiento recto en el cual baja para admitir y sube para cerrar, esto lo hace porque cuenta con un resorte y para que no se salga con seguros . Las válvulas de aspiración están generalmente construidas con acero menos costoso (de bajo tenor níquel-cromo). Para los muelles los aceros más usados son aquellos al silicio-manganeso y el acero sueco (especialmente para los motores de aviación). Desde el punto de vista del mantenimiento las válvulas deben estar montadas de modo que resulten fácilmente revisables y permitir también de una manera fácil su esmerilado y rectificando de los asientos cuando es necesario restablecer una buena estanqueidad.(Ganesan,2010)

**VALVULA DE ESCAPE:** Al igual que la de admisión cuenta con lo mismo, solo que esta sube para que se escapen los gases de la cámara de combustión y sierra para que al admitir no se escape nada. Para la construcción de las válvulas de

escape se ha empleado durante un cierto tiempo el acero al tungsteno, del tipo usado para utensilios, que tiene óptimas cualidades de resistencia mecánica en caliente, pero que tiende a agrietarse a elevadas temperaturas: actualmente se usa de una manera especial el acero al cromo-silicio oportunamente tratado. El material que se considera mejor desde el punto de vista de la resistencia al calor es un acero austenítico con alta tenencia de níquel-cromo, por ello no magnético e insensible a los tratamientos térmicos: se usa especialmente para las válvulas de aviación, cuyos asientos cónicos están a menudo revestidos de estelita. (Arias Paz, 2010)

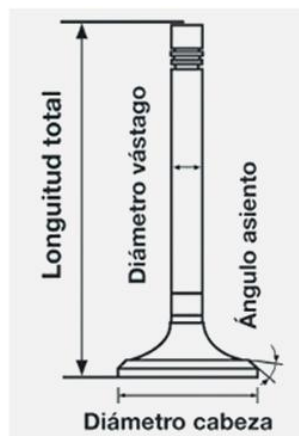


Figura N° 18 Dimensiones de una Válvula  
Fuente: Manual de MCI (Pellegrini Sánchez)

✓ **BUJIAS:**

La bujía es el elemento que produce el encendido de la mezcla de combustible y aire en los cilindros, mediante una chispa, en un motor de combustión interna de encendido provocado (MEP), tanto alternativo de ciclo Otto como Wankel. Su correcto funcionamiento es crucial para el buen desarrollo del proceso de combustión/expansión del ciclo Otto, ya sea de 2 tiempos (2T) como de cuatro (4T) y pertenece al sistema de encendido del motor. Las bujías convierten la energía eléctrica generada por la bobina del encendido en un arco eléctrico, el cual a su vez permite que la mezcla de aire y combustible se expanda rápidamente generando trabajo mecánico que se transmite al pistón o émbolo rotatorio (Wankel). Para ello hay que suministrar un voltaje suficientemente elevado a la bujía, por parte del sistema de encendido del motor para que se



produzca la chispa, al menos de 5.000 V. Esta función de elevación del voltaje se hace por autoinducción en la bobina de alta tensión.(Martinez,2007)



Figura N° 19 Bujía de Iridio BOSCH  
Fuente: BOSCH INC

✓ **MONOBLOCK:**

El bloque del motor, bloque motor, bloque de cilindros o monoblock es una pieza fundida en hierro o aluminio que aloja los cilindros de un motor de combustión interna así como los soportes de apoyo del cigüeñal. El diámetro de los cilindros, junto con la carrera del pistón, determina la cilindrada del motor. La función del bloque es alojar el tren alternativo, formado por el cigüeñal, las bielas y los pistones. En el caso de un motor por refrigeración líquida, la más frecuente, en el interior del bloque existen también cavidades formadas en el molde a través de las cuales circula el agua de enfriamiento, así como otras tubulares para el aceite de lubricación cuyo filtro también está generalmente fijo a la estructura del bloque. Los materiales más usados son el hierro fundido y el aluminio, este último más ligero y con mejores propiedades disipadoras, pero de precio más elevado. Resistiendo peor al roce de los pistones, los bloques de aluminio tienen los cilindros normalmente revestidos con camisas de acero.(Arias Paz,2010)

✓ **EMPAQUETADURA DE CULATA:**

Las empaquetaduras de culata de cilindros constituyen el sello más crítico de un motor entre la culata de cilindro y la plataforma del bloque del motor. La empaquetadura de culata sella la presión de combustión, el enfriador y el aceite. La importancia de esta pieza en el motor es de garantizar la retención de la presión generada en los cilindros durante los ciclos de compresión y de

combustión del motor que actúa en los pistones, convirtiendo la energía de la combustión en energía mecánica en el cigüeñal.

El empaque de culata deberá retener y evitar la mezcla de los diferentes fluidos como son el aceite, el agua y los gases producidos en la combustión.(Ganesan,2010)

Síntomas de un empaque de culata defectuoso:

Los anillos presentan oxidación, la cual no soportaran las presiones generadas por la combustión. El material del cuerpo presenta abombamientos o despegue entre el material o sellado exterior y el alma metálica la cual permitirá el paso de fluidos del motor por el interior del empaque. (Martinez,2007)



Figura N°20 Empaquetadura de culata de Motor Wartsila  
Fuente: Wartsila

✓ **CIGÜEÑAL:**

Un cigüeñal es un eje acodado, con codos y contrapesos presente en ciertas máquinas que, aplicando el principio del mecanismo de biela - manivela, transforma el movimiento rectilíneo alternativo en circular uniforme y viceversa. En los motores de automóviles el extremo de la biela opuesta al bulón del pistón (cabeza de biela) conecta con la muñequilla, la cual junto con la fuerza ejercida por el pistón sobre el otro extremo (pie de biela) genera el par motor instantáneo. El cigüeñal va sujeto en los apoyos, siendo el eje que une los apoyos el eje del motor.(Arias Paz,2010)

Normalmente se fabrican de aleaciones capaces de soportar los esfuerzos a los que se ven sometidos y pueden tener perforaciones y conductos para el paso de lubricante. Sin embargo, estas aleaciones no pueden superar una dureza a 40 Rockwell "C" (40 RHC), debido a que cuanto más dura es la aleación más frágil se



convierte la pieza y se podría llegar a romper debido a las grandes fuerzas a las que está sometida. Hay diferentes tipos de cigüeñales; los hay que tienen un apoyo cada dos muñequillas y los hay con un apoyo entre cada muñequilla. El mantenimiento del cigüeñal en el motor de 4 tiempos, se limita a cambiar aceite y filtro de aceite cada cierto número de horas de operación, y a cambiar retenes o juntas cuando se produzcan fugas. (De Bona,1999)

Ocurre con cierta frecuencia, en caídas a alta velocidad, que el extremo del cigüeñal del lado del motor que roza con el suelo se doble o resulte erosionado. Cuando ocurre esto, evidentemente se ha de sustituir el cigüeñal, pues repararlo sería inviable. También puede resultar doblado el cigüeñal cuando se llena un cilindro de agua (junta de culata en mal estado) o de gasolina (válvula de admisión abierta y válvula de la cuba en mal estado]. En ambos casos, el cilindro se llena de líquido, y, al no poder comprimirlo, se dobla por la muñequilla o el brazo de unión (aunque también puede doblar la biela). (De Bona,1999)

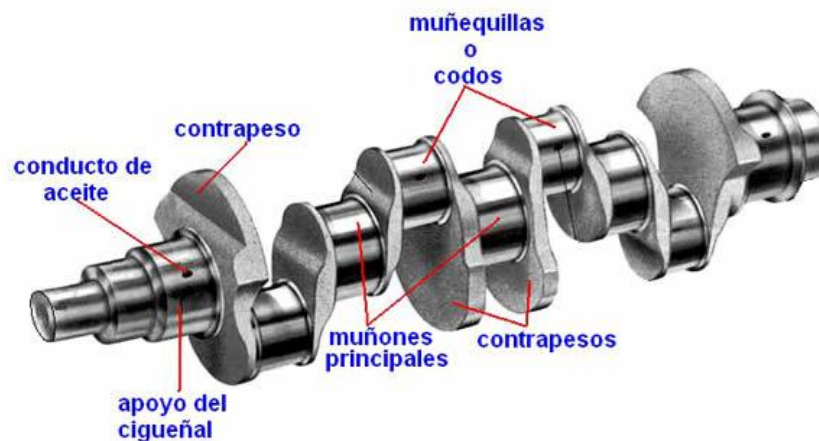


Figura N° 21 Componentes de un árbol cigüeñal  
Fuente: Mecánica Automotriz

✓ **BIELAS:**

Se puede denominar biela a un elemento mecánico que sometido a esfuerzos de tracción o compresión, transmite el movimiento articulando a otras partes de la máquina. En un motor de combustión interna conectan el pistón al cigüeñal.

Actualmente las bielas son un elemento básico en los motores de combustión interna y en los compresores alternativos. Se diseñan con una forma específica para conectarse entre las dos piezas, el pistón y el cigüeñal. Su sección transversal o perfil puede tener forma de H, I o +. El material del que se fabrican es de una aleación de acero, titanio o aluminio. En la industria automotor todas se fabrican por forja, pero algunos fabricantes de piezas las hacen mediante mecanizado. Por lo general, las bielas de los motores alternativos de combustión interna se realizan en acero templado mediante forja, aunque hay motores de competición con bielas de titanio o aluminio, realizadas por operaciones de arranque de material. Los principales esfuerzos que sufre la biela son de flexión compuesta en el momento de la carga máxima al explotar la mezcla combustible (expansión del ciclo), la compresión estaría dada por la componente de la fuerza sobre el eje longitudinal de la biela, y la flexión por la componente transversal a la misma, y lo mismo con el par reactivo proporcionado por la carga a través del cigüeñal al oponerse al movimiento. Además la biela sufre un esfuerzo de compresión nuevamente en la etapa de compresión de la mezcla. (Arias Paz, 2010)



Figura N°22 Biela de un motor de combustión interna  
Fuente: Tecnología marítima

✓ **PISTON:**

El pistón es una pieza metálica tronco cónica compuesta por tres partes que son: la cabeza, el cuerpo y la pollera o falda. La parte superior o cabeza es la parte más reforzada del mismo ya que se encarga de recibir el empuje de la expansión de los gases dentro del cilindro durante el desarrollo del ciclo. Los

pasadores de pistón están hechos de aluminio. Se trata de un émbolo que se ajusta al interior de las paredes del cilindro mediante aros flexibles llamados segmentos o anillos. Efectúa un movimiento alternativo, obligando al fluido que ocupa el cilindro a modificar su presión y volumen o transformando en movimiento el cambio de presión y volumen del fluido. Entre las características que debe reunir se cuentan (Arias Paz, 2010)

Capacidad de soportar las condiciones extremas a las que se ven expuestos.

Debe ser ligero para no transmitir excesivas inercias que aumenten las vibraciones del motor.

Capacidad de dotar de perfecta estanqueidad al cilindro para así evitar una eventual fuga de gases.

A través de la articulación de biela y cigüeñal, su movimiento alternativo se transforma en rotativo en este último.

El pistón debe ser diseñado de forma tal que permita una buena propagación del calor, para evitar las altas tensiones moleculares provocadas por altas temperaturas en diferentes capas del material, caso contrario una mala distribución del calor ocasiona dilataciones desiguales en distintas partes del pistón ocasionando así roturas del mismo. Es común el uso de cabezas de acero fundido en motores de gran potencia, manteniendo el cuerpo cilíndrico de hierro fundido. (Ganesan, 2010)

Generalmente para la construcción del pistón se emplea la fundición de grano fino, pero cuando es necesario fabricarlo en dos o más partes se usa el fondo de acero fundido para resistir mejor las tensiones producidas por el calor.

La parte superior o cabeza es la parte más reforzada del mismo ya que se encarga de recibir el empuje de la expansión de los gases dentro del cilindro durante el desarrollo del ciclo. Los pasadores de pistón están hechos de aluminio. Se trata de un émbolo que se ajusta al interior de las paredes del cilindro mediante aros flexibles llamados segmentos o anillos. Efectúa un movimiento alternativo, obligando al fluido que ocupa el cilindro a modificar su presión y volumen o transformando en movimiento el cambio de presión y volumen del fluido. (De Bona, 1999)

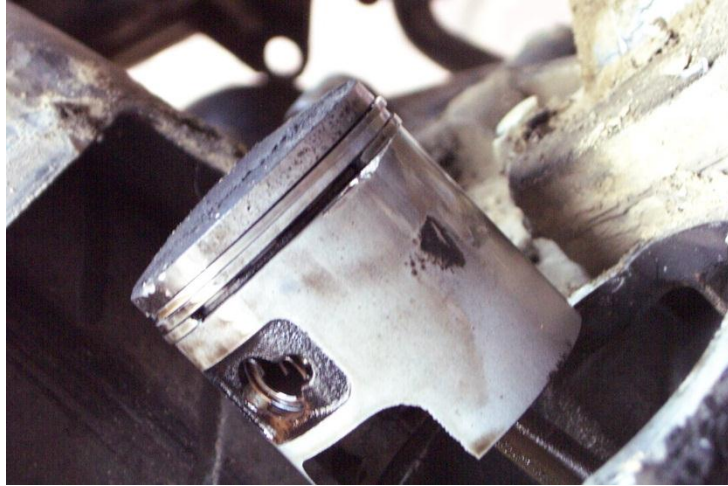


Figura N° 23 Cara de pistón dañado  
Fuente: Tecnología marítima

✓ **CILINDRO:**

El cilindro de un motor es el recinto por donde se desplaza un pistón. Su nombre proviene de su forma, aproximadamente un cilindro geométrico.

En los motores de combustión interna tales como los utilizados en los vehículos automotores, se dispone un ingenioso arreglo de cilindros junto con pistones, válvulas, anillos y otros mecanismos de regulación y transmisión, pues allí es donde se realiza la explosión del combustible, es el origen de la fuerza mecánica del motor que se transforma luego en movimiento del vehículo.

El cilindro es una pieza hecha con metal fuerte porque debe soportar a lo largo de su vida útil un trabajo a alta temperatura con explosiones constante de combustible, lo que lo somete a un trabajo excesivo bajo condiciones extremas. Una agrupación de cilindros en un motor constituye el núcleo del mismo, conocido como bloque del motor.(Arias Paz,2010)



Figura N° 24 Cilindro de un motor de combustión interna  
Fuente: Revista Mecánica automotor

✓ **CAMISAS:**

La camisa del motor es una cavidad responsable de asegurar que las muy altas temperaturas del escape no dañen los componentes internos del motor. Debido a su importante función, en caso de un problema es recomendable reemplazar la camisa del cilindro. Las camisas son la cavidad por donde pasa el líquido refrigerante ya sea agua o anticongelante, esto es así para enfriar el motor, de estas hay dos tipos de camisas secas las cuales están de una forma cubierta y solo con un orificio y pasa por dentro de una forma individual, o de camisas húmedas por las cuales están de forma junta. Las camisas pueden tener grietas debido a un mal enfriamiento (como ya se había comentado), un pistón o pistones que encajen de forma inapropiada, instalación incorrecta, cuerpos extraños en el espacio de combustión, erosión y corrosión. Un mal enfriamiento, que por lo general resulta de pasajes de enfriamiento restringidos, puede causar recalentamiento en algunos puntos, resultando en una falla de la camisa debido a un estrés térmico. La formación de escamas en los pasajes de enfriamiento de las camisas también puede causar recalentamiento en algunos puntos; este es el caso de las camisas húmedas; las secas, requieren de un contacto limpio entre las superficies de las camisas y el bloque del cilindro para poderse enfriar correctamente. Partículas de suciedad entre estas superficies causan espacios

de aire los cuales son malos conductores de calor La deformación, desgaste o ruptura, también pueden ser producto de una camisa mal asentada. Las causas de un mal asentamiento pueden ser partículas metálicas o esquirlas.(Arias Paz,2010)



Figura N° 25 Camisas de un motor de combustión interna  
Fuente: Wartsila

**b SISTEMAS :**

✓ **SISTEMA DE ENFRIAMIENTO:**

El sistema de enfriamiento es un sistema constituido de partes y refrigerante que trabajan juntos para controlar la temperatura de operación del motor y obtener un óptimo desempeño. El sistema tiene conductos dentro del monoblock y cabezas del motor, una bomba de agua y la banda que la impulsa para que circule el refrigerante, un termostato para controlar la temperatura del refrigerante, un radiador para enfriar el refrigerante, un tapón de radiador para mantener la presión en el sistema y mangueras para conducir el refrigerante del motor al radiador.(Ganesan,2010)

El líquido que fluye a través del sistema refrigerante, anticongelante o comúnmente referido como refrigerante, soporta temperaturas extremas de calor y frío, contiene inhibidores de corrosión y lubricantes para mantener el sistema trabajando en optimas condiciones.

El refrigerante inicia su circulación en la bomba de agua. El impulsor de la bomba de agua utiliza la fuerza centrífuga para hacer circular refrigerante del radiador e impulsarlo al monoblock del motor. Las bombas usualmente son impulsadas por la banda de tiempo o cadena de tiempo. Ahora en día, inclusive hay bombas impulsadas por electricidad. Si la bomba de agua experimenta una fuga por el sello, una fractura en el cuerpo, un impulsor roto o un mal funcionamiento del balero, esto podrá afectar todo el sistema refrigerante ocasionando que el vehículo se sobre-caliente.

Mientras que el refrigerante fluye por el sistema, absorbe el calor del motor antes de llegar al termostato. El termostato es una válvula que mide la temperatura del refrigerante y abre para permitir que el fluido caliente viaje al radiador. Si el termostato se ‘pega’ o deja de funcionar, afectará todo el sistema refrigerante.(Ganesan,2010)

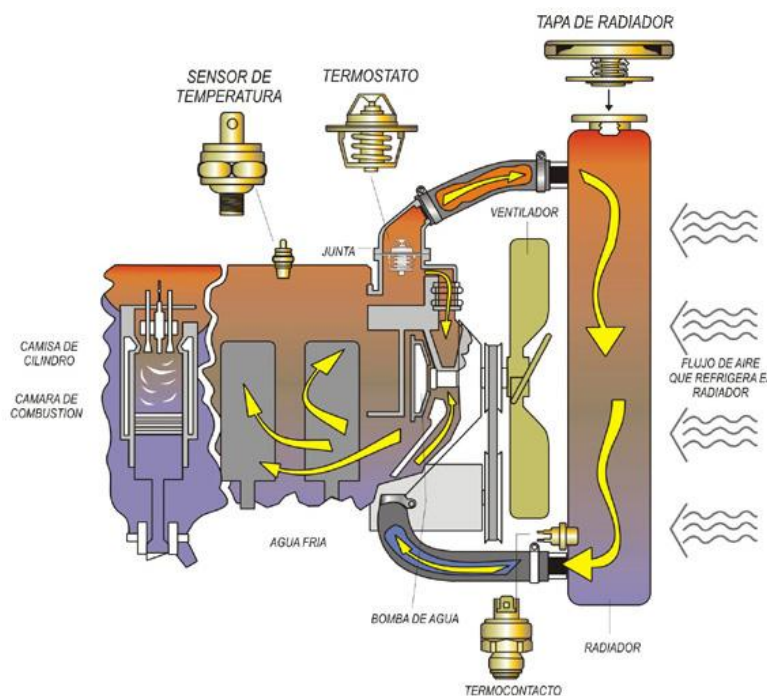


Figura N° 26 Sistema de Refrigeración de un motor  
Fuente: WARTSILA

✓ **SISTEMA DE LUBRICACION:**

El motor del automóvil es una máquina térmica que funciona a alta velocidad de rotación y con numerosas piezas interiores con movimiento relativo, sometidas a rozamiento mutuo, y a grandes cargas, y, como máquina térmica al fin, genera

abundante calor en su interior que debe ser disipado al exterior a fin de mantener los niveles de temperatura de las piezas en valores adecuados para el funcionamiento. Debe ser un sistema muy seguro, su fallo, aunque sea por tiempo breve, arruina por completo el motor.(De Bona,1999)

La mayor parte del calor generado, y que no se convierte en trabajo útil, se disipa a través de los sistemas de escape y enfriamiento, pero estos sistemas no pueden llegar a extraer el calor de las partes mas internas del motor, por lo que esta tarea la tiene el sistema de lubricación. De esta forma podemos decir que el sistema de lubricación tiene dos tareas básicas:

Llevar el lubricante a una presión adecuada a las partes con rozamiento mutuo. Enfriar aquellas zonas de altas temperaturas que no están en contacto con el sistema de enfriamiento, como son pistones, y cojinetes de bielas.( Arias Paz,2010)

✓ **SISTEMA DE COMBUSTIBLE:**

Consta de varios subsistemas a saber:

**SUBSISTEMA DE SUMINISTRO DEL COMBUSTIBLE GNC**

Está conformado por una estación de regulación y medición del gas natural suministrado por gasoducto físico de la línea principal de gas natural de propiedad de TRANSPORTADORA DE GAS NATURAL a una presión máxima de 60 bar o sea aproximadamente 60 veces la presión atmosférica con su válvula de cierre con dispositivo de alivio de seguridad y accesorios.(CAT,2005)





Figura N° 27 Estación de Regulación y medición de Gas Natural  
Fuente: EGESUR

### **SUBSISTEMA DE REGULACIÓN DE PRESIÓN**

Consta de un dispositivo principal regulador de presión que permite que el GNC reduzca su presión partiendo de la presión que llega al vano motor a la presión del cilindro de almacenamiento; la alimentación al motor tiene lugar a valores cercanos a la presión atmosférica con valor que se corresponde con el diseño original del motor y la tecnología de conversión a aplicar (o sea alimentación por un sistema con carburador o por un sistema de inyección de combustible). (CAT,2005)

### **SUBSISTEMA DE CONTROL ELECTRONICO DE LA INYECCION**

En los vehículos modernos, los motores presentan un sistema de alimentación a través de inyectores. Este tipo de alimentación, gobernada por medio de una computadora, que asegura el ingreso de la cantidad exacta de combustible de acuerdo a la condición en que se encuentre operando el motor, consiguiendo un menor consumo de combustible y emisiones un tanto más limpias que los sistemas carburados para los motores con Ciclo Otto.(CAT, 2005)

Dentro de los principales componentes tenemos:

**CORRECTOR DE AVANCE** :La velocidad de propagación de llama del gas es menor que la de la gasolina, esto quiere decir que el gas natural necesita más tiempo para realizar una combustión completa y lograr el máximo rendimiento posible

en el motor. Por tal motivo, el avance al encendido se debe adelantar aproximadamente 10° respecto al motor operando con gasohol por lo que el avance al encendido con el motor a gas natural, deberá ser de aproximadamente 22° inicial.

La función del corrector de avance en los motores con inyección electrónica sobre todos en los tipos 34 SG WARTSILA es la de obtener el avance adecuado a todos los regímenes de revoluciones, sin alterar los circuitos propios del motor . El corrector de avance cuenta con una calibración para asegurarse que, inmediatamente el motor salga del estado de ralentí, se active, comenzando la corrección, mejorando la rampa de arranque del motor.

CONTROLADOR DE SONDA LAMBDA : Este elemento toma los valores de la sonda lambda, la posición del acelerador y el tiempo de inyección calculado por la computadora central del motor 34 SG WARTSILA , y determina la correcta relación de mezcla aire/gas natural a ser utilizada por el motor en cada momento, independientemente del estado de carga, la velocidad, etc.

Esa mezcla estequiométrica es la que permite al motor desarrollar toda su potencia, permitiendo, a la vez, un mejor confort de manejo y una reducción apreciable en el consumo de combustible, logrando un importante incremento en la vida útil del motor.(Cummins,2011)

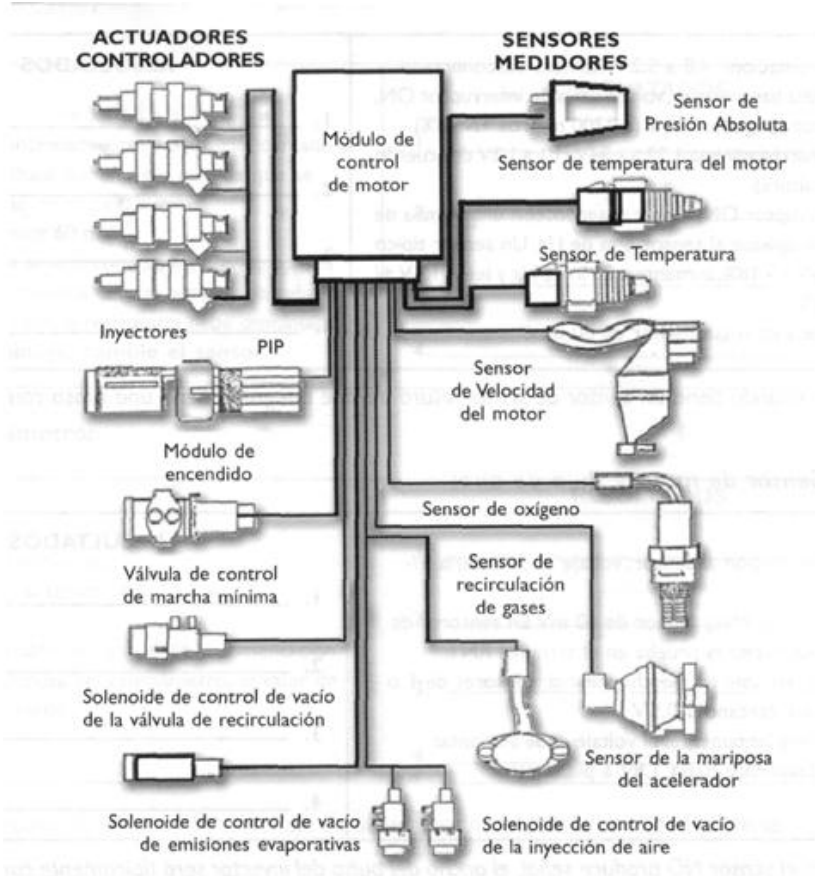


Figura N° 28 Subsistema de control electrónico motor con gas natural.  
Fuente: WARTSILA

### SUBSISTEMA DE INYECCION DEL GAS NATURAL

Permite acompañar el desempeño del diseño del sistema de combustible original a nafta, aplicando tecnología acorde incluso de inyección de última generación.

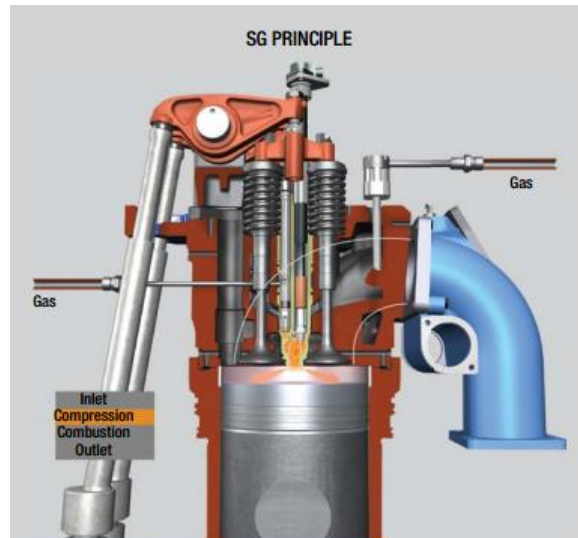


Figura N° 29 Sistema de inyección de motor 34V18G  
Fuente: WARTSILA

✓ **SISTEMA DE REGULACION DEL MOTOR:**

El regulador del motor es un dispositivo mecánico diseñado para mantener una velocidad constante del motor con relación a los requisitos de carga. La velocidad del motor está directamente relacionada con la frecuencia de salida del alternador, por lo que cualquier variación de la velocidad del motor afectará a la frecuencia de la potencia de salida. el cual es un mecanismo centrífugo (tipo regulador de Watt), cuya función es mantener constante la velocidad de rotación, interactuando para esto con la válvula de mariposa del motor a través de un sistema de palancas. Cabe indicar que la presencia del regulador es imprescindible para mantener constantes el voltaje y la frecuencia de la corriente del grupo electrógeno (Cummins,2011)

✓ **TURBOCOMPRESOR:**

El turbocompresor de los gases de escape usa la energía de los gases de escape para comprimir el aire aspirado. De esta forma, el motor recibe una masa de aire más grande en la que se puede inyectar una cantidad de combustible mayor. Así, se aumenta el rendimiento del motor y el par máximo en relación con el volumen de desplazamiento del pistón. (Arias Paz,2010)

El turbocompresor es una condición previa para el downsizing: reducción del volumen de desplazamiento del pistón con el mismo rendimiento del motor. De este modo, se obtienen motores que consumen menos combustible y, en consecuencia, se reducen las emisiones de CO<sub>2</sub>.(Arias Paz,2010)



Figura N° 30 Turbocompresor de MCI  
Fuente: Mitsubishi motors

✓ **SISTEMA ELECTRICO DEL MOTOR:**

El sistema eléctrico del motor es de 12 V o 24 V, negativo a masa. El sistema incluye un motor de arranque eléctrico, una/s batería/s, y los sensores y dispositivos de alarmas de los que disponga el motor. Normalmente, un motor dispone de un manocontacto de presión de aceite, un termocontacto de temperatura y de un contacto en el alternador de carga del motor para detectar un fallo de carga en la batería. (Cummins,2011)

c. **ACCESORIOS ADICIONALES:**

✓ **CONVERTIDOR CATALITICO:**

El convertidor catalítico es una de las numerosas piezas caras que tienen los motores y que no son imprescindibles para su funcionamiento. La utilización de este dispositivo se debe a la necesidad de eliminar hasta un alto porcentaje los gases tóxicos que acompañan al escape del motor. Solo está reglamentado su uso obligatorio en algunos países, donde el tránsito vial es intenso y por consiguiente la contaminación ambiental elevada. La dinámica de su funcionamiento es compleja y dependiente de diversos factores que deben ser

controlados con exactitud para lograr el objetivo perseguido, la moderna forma de alimentar los motores por inyección de gasolina asistida por ordenador, y el uso de sensores de precisión han hecho posible que el trabajo eficiente del convertidor catalítico sea una realidad.(Cummins,2011)

A este dispositivo entran los gases aun calientes procedentes del motor y en su interior se producen las reacciones químicas que convierten los gases tóxicos, en gases no tóxicos a la salida. Las reacciones se producen de forma catalítica por lo que de ello deriva su nombre.En los convertidores modernos (de triple acción) las transformaciones se producen cambiando el monóxido de carbono (CO), los óxidos de nitrógeno (NOx) y los hidrocarburos sin quemar (C<sub>n</sub>H<sub>m</sub>) que vienen del motor, a dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), nitrógeno molecular (N<sub>2</sub>) y agua (H<sub>2</sub>O). Como catalizadores se emplean metales preciosos que son escasos y caros, entre ellos los más utilizados son el platino, el paladio y el rodio, especialmente el primero.(Arias Paz,2010)

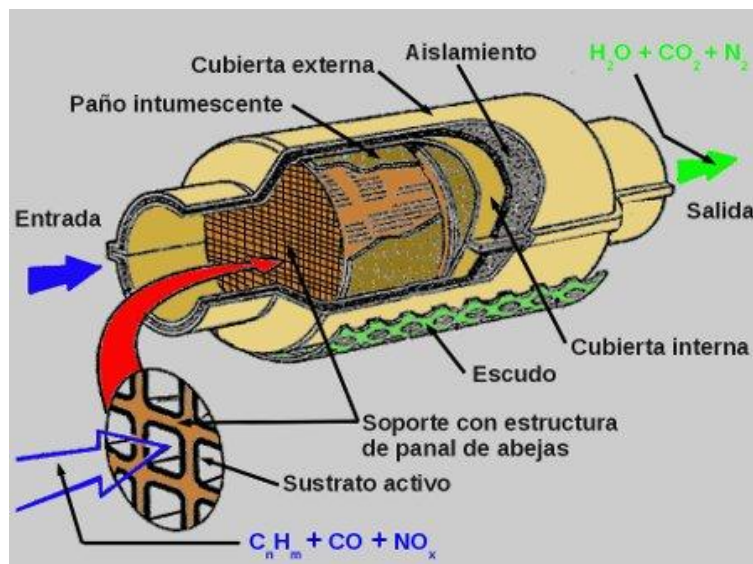


Figura N° 31 Convertidor catalítico  
Fuente: Tecnología automotor

✓ **SILENCIADOR :**

Este elemento tiene el objetivo de amortiguar el ruido que se produciría si la onda mecánica de choque generada cuando se abre la válvula de escape llegase directamente al exterior. El silenciador tampoco es imprescindible, pero pueden imaginarse una vía de tráfico intenso si todos los automóviles produjeran ruido

intenso, por eso, en la mayoría de los países es de uso obligatorio este dispositivo. Hay infinidad de diseños de silenciadores con mejor o peor eficiencia acústica, pero todos sin excepción, lo que buscan es convertir el flujo pulsante de ondas de choque de los gases de escape a un flujo continuo y silencioso. Para ello se utiliza la cualidad de las ondas de reflejarse e interferirse, veamos como funciona. La clave para su funcionamiento radica en conducir las gases de escape que salen del motor, como ondas de choque desde cada uno de los cilindros, a una cámara donde estas ondas choquen y se reflejen desde las paredes y actúen de manera destructiva sobre las ondas entrantes. (CAT,2005)

### **2.2.2 GENERADOR ELECTRICO:**

#### **a. GENERALIDADES**

Un generador de corriente eléctrica alterna, es todo dispositivo capaz de mantener una diferencia de potencial eléctrico entre dos de sus puntos (llamados polos, terminales o bornes) transformando la energía mecánica en energía eléctrica. Esta transformación se consigue por la acción de inducción electromagnética, este fenómeno consiste en producir una fuerza electromotriz (F.E.M.) en un medio expuesto a un campo magnético variable, o en un medio móvil respecto a un campo magnético estático, es así que cuando dicho medio es un conductor se produce una corriente inducida; la F.E.M. se define como el trabajo que el generador realiza para pasar la unidad de carga positiva del polo negativo al positivo por el interior del generador. (Cummins,2011)

#### **b. FUNCIONAMIENTO.**

El funcionamiento de los generadores eléctricos se basa en el fenómeno de inducción electromagnética: cuando un conductor hace un movimiento relativo hacia el campo magnético, se induce el voltaje en el conductor. Particularmente, si una bobina está girando en un campo magnético, significa que las dos caras de la turbina se mueven en direcciones opuestas y se añaden los voltajes inducidos a cada lado. Numéricamente, el valor instantáneo del voltaje final (denominado fuerza electromotriz) es igual al resto del índice de cambio del flujo magnético  $\Phi$  veces el nombre de vueltas de la bobina:  $V = -N \cdot \Delta\Phi / \Delta t$ . Esta relación se ha encontrado experimentalmente y hace

referencia a la Ley de Faraday. El símbolo “menos” es por la ley de Lenz, que indica que la dirección de FEM es tal que el campo magnético de la corriente inducida se opone al cambio en el flujo que produce esta FEM. La ley de Lenz está relacionada con la conservación de energía.(Cummins,2011)

Como la frecuencia de flujo magnético cambia a través de la bobina que gira en una frecuencia constante que varía de forma sinusoidal con la rotación, el voltaje generado a las terminales de la bobina también es sinusoidal (CA). Si un circuito externo se conecta a las terminales de bobina, este voltaje creará corriente a través de este circuito, que será energía que se transferirá a la carga. Por lo tanto, la energía mecánica que hace rotar la bobina se convierte en energía eléctrica. a corriente de la carga, a su vez, crea un campo magnético que se opone al cambio del flujo de la bobina, por lo tanto, la bobina se opone al movimiento. Como más alta sea la corriente, más grande debe de ser la fuerza que se tiene que aplicar a la armadura para evitar que se ralentice. En la imagen, una biela manual hace rotar la bobina. A la práctica, la energía mecánica es producida por turbinas o motores que se denominan fuentes energéticas. En un generador eléctrico de CA pequeño, una fuente energética normalmente es un motor de combustión interna rotatorio.(Cummins,2011)

**c. GENERADOR DE CORRIENTE ALTERNA:**

✓ **DEFINICION:**

Los generadores de corriente alterna o alternadores son máquinas que transforman energía mecánica, que reciben por el rotor, en energía eléctrica en forma de corriente alterna. La mayoría de alternadores son máquinas de corriente alterna síncrona, que son las que giran a la velocidad de sincronismo, que está relacionada con el nombre de polos que tiene la máquina y la frecuencia de la fuerza electromotriz. Esta relación hace que el motor gire a la misma velocidad que le impone el estator a través del campo magnético.(CAT,2005)

✓ **COMPONENTES:**

**ESTATOR:** Parte fija exterior de la máquina. El estator está formado por una carcasa metálica que sirve de soporte. En su interior encontramos el núcleo del



inducido, con forma de corona y ranuras longitudinales, donde se alojan los conductores del enrollamiento inducido.(CAT,2005)

**ROTOR:** Parte móvil que gira dentro del estator El rotor contiene el sistema inductor y los anillos de rozamiento, mediante los cuales se alimenta el sistema inductor. En función de la velocidad de la máquina hay dos formas constructivas. Rotor de polos salidos o rueda polar: Utilizado para turbinas hidráulicas o motores de combustión interna, para sistemas de baja velocidad , desde 1800 a 600 rpm Rotor de polos lisos: Utilizado para turbinas de vapor y gas, estos grupos son llamados turboalternadores. Pueden girar a 3000, 1500 o 1000 r.p.m. en función de los polos que tenga.(CAT,2005)

✓ **ACOPLAMIENTO A LA MAQUINA MOTRIZ:**

Los alternadores están acoplados a una máquina motriz que les genera la energía mecánica en forma de rotación. Según la máquina motriz tenemos tres tipos:

**TURBINAS DE VAPOR:** Se acopla directamente al alternador. Generan una velocidad de giro baja y necesitan un volante de inercia para generar una rotación uniforme.

**MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA:** Se acoplan directamente y las características son similares al caso anterior.

**TURBINAS HIDRÁULICAS:** La velocidad de funcionamiento tiene un rango muy amplio. Estos alternadores están diseñados para funcionar bien hasta el doble de su velocidad de régimen.(Renovatec,2009)

✓ **EXCITATRIZ DE LOS ALTERNADORES:**

Los alternadores necesitan una fuente de corriente continua para alimentar los electroimanes (devanados) que forman el sistema inductor. Por eso, en el interior del rotor se incorpora la excitatriz.(Renovatec,2009)

La excitatriz es la máquina encargada de suministrar la corriente de excitación a las bobinas del estátor, parte donde se genera el campo magnético. Según la forma de producir el flujo magnético inductor podemos hablar de:

**EXCITACIÓN INDEPENDIENTE.** La corriente eléctrica proviene de una fuente exterior.

**EXCITACIÓN SERIE.** La corriente de excitación se obtiene conectando las bobinas inductoras en serie con el inducido. Toda la corriente inducida a las bobinas del rotor pasa por las bobinas del estátor.

**EXCITACIÓN SHUNT O DERIVACIÓN.** La corriente de excitación se obtiene conectando las bobinas del estátor en paralelo con el inducido. Solo pasa por las bobinas del estátor una parte de la corriente inducida.

**EXCITACIÓN COMPOUND.** En este caso las bobinas del estátor están conectadas tanto en serie como en paralelo con el inducido.(Renovatec,2009)

✓ **EFFECTOS DEL FUNCIONAMIENTO DE UN ALTERNADOR:**

Cuando un alternador funciona conectado a un circuito exterior se crean corrientes inducidas que nos generan los siguientes efectos:

**CAÍDA DE TENSIÓN EN LOS BOBINAJES INDUCIDOS:** La resistividad que nos presentan los conductores hace que tengamos una caída de tensión.

**EFFECTO DE REACCIÓN EN EL INDUCIDO:** El tipo de reacción que tendremos en el inducido dependerá de la carga conectada:

Resistiva: Tenemos un incremento en la caída de tensión interna y una disminución de la tensión en los bornes de salida.

Inductiva: Aparece una caída de tensión importante en los bornes de salida.

Capacitiva: Disminuye la caída de tensión interna y eleva más el valor de la tensión de salida en los bornes de salida.

**EFFECTO DE DISPERSIÓN DEL FLUJO MAGNÉTICO:** Hay líneas de fuerza que no pasan por el inducido, se pierden o llegan al siguiente polo. Cuanto más alta sea la corriente del inducido, más pérdidas por dispersión nos encontramos.(Renovatec,2009)

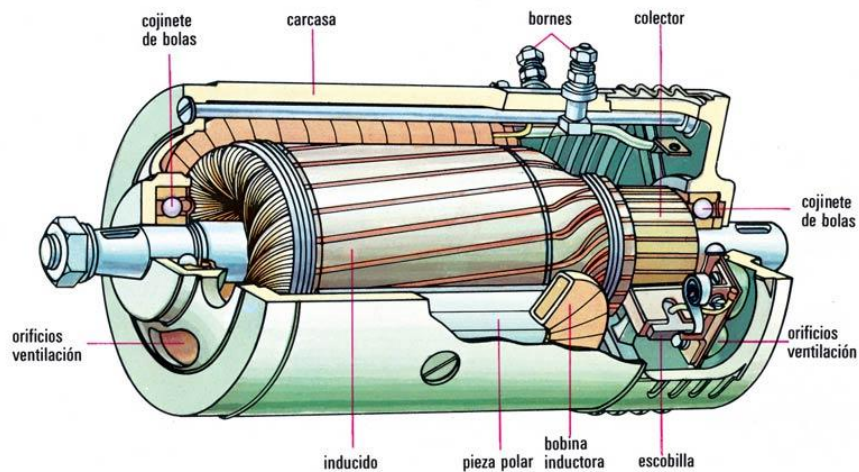


Figura N° 32 Partes de un generador eléctrico  
Fuente: Foro eléctrico

**d. GENERADOR DE CORRIENTE CONTINUA::**

✓ **DEFINICION:**

El generador de corriente continua, también llamado dinamo, es una máquina eléctrica rotativa a la cual le suministramos energía mecánica y la transforma en energía eléctrica en corriente continua. En la actualidad se utilizan muy poco, ya que la producción y transporte de energía eléctrica es en forma de corriente alterna. Una de las características de las dinamos es que son máquinas reversibles: se pueden utilizar tanto como generador o como motor. El motor es la principal aplicación industrial de la dinamo, ya que tiene facilidad a la hora de regular su velocidad de giro en el rotor.(CAT, 2005)

✓ **PARTES:**

**ESTÁTOR**

El estátor es la parte fija exterior de la dinamo. El estator contiene el sistema inductor destinado a producir el campo magnético. Está formado por:

Polos inductores: Diseñados para repartir uniformemente el campo magnético. Distinguimos en ellos el núcleo y la expansión polar. El número de polos ha de ser par, en caso de máquinas grandes se han de utilizar polos auxiliares.

Devanado inductor: Son las bobinas de excitación de los polos principales, colocadas alrededor del núcleo. Están hechos con conductores de cobre o de aluminio recubiertos por un barniz aislante. Culata: La culata sirve para cerrar el circuito magnético y sujetar los polos. Esta construida con material ferromagnético.(CAT,2005)

### **ROTOR**

El rotor es la Parte móvil que gira dentro del estátor. El rotor al estar sometido a variación de flujo crea la fuerza electromotriz inducida, por lo tanto contiene el sistema inducido. Está formado por:

Núcleo del inducido: Cilindro construido para reducir las pérdidas magnéticas. Dispone de ranuras longitudinales donde se colocan las espiras del enrollamiento del inducido.

Devanado inducido: Formado por espiras que se distribuyen uniformemente por las ranuras del núcleo. Se conecta al circuito exterior de la máquina por medio del colector y las escobillas.

Colector: Cilindro solidario al eje de la máquina formado por segmentos de cobre o láminas aisladas eléctricamente entre ellas. En cada lámina se conecta una bobina. Es el encargado de realizar la conversión de corriente alterna a corriente continua.

Escobillas: Son piezas de carbón-grafito o metálicas, que están en contacto con el colector. Hacen la conmutación de la corriente inducida y la transportan en forma de corriente continua hacia el exterior.

Cojinetes: Sirven de soporte y permiten el giro del eje de la máquina.(CAT,2005)

### **ENTREHIERRO**

El entrehierro es el espacio de aire comprendido entre el rotor y el estátor. Suele ser normalmente de entre 1 y 3 milímetros. El entehierro es imprescindible para evitar rozamientos entre la parte fija y la parte móvil.

## **2.2.3 SISTEMA DE CONTROL DE LA OPERACIÓN:**

- a. Sistema de control. Se puede instalar uno de los diferentes tipos de paneles y sistemas de control para controlar el funcionamiento y salida del grupo y para protegerlo contra

posibles fallos en el funcionamiento. El manual del sistema de control proporciona información detallada del sistema que está instalado en el grupo electrógeno.

- b. Interruptor automático de salida. Para proteger al alternador, se suministra un interruptor automático de salida adecuado para el modelo y régimen de salida del grupo electrógeno con control manual. Para grupos electrógenos con control automático se protege el alternador mediante contactores adecuados para el modelo adecuado y régimen de salida.
- c. Otros accesorios instalables en un grupo electrógeno. Además de lo mencionado anteriormente, existen otros dispositivos que nos ayudan a controlar y mantener, de forma automática, el correcto funcionamiento del mismo. Para la regulación automática de la velocidad del motor se emplean una tarjeta electrónica de control para la señal de entrada "pick-up" y salida del "actuador". El pick-up es un dispositivo magnético que se instala justo en el engranaje situado en el motor, y éste, a su vez, está acoplado al engranaje del motor de arranque. El pick-up detecta la velocidad del motor, produce una salida de voltaje debido al movimiento del engranaje que se mueve a través del campo magnético de la punta del pick-up, por lo tanto, debe haber una correcta distancia entre la punta del pick-up y el engranaje del motor. El actuador sirve para controlar la velocidad del motor en condiciones de carga. Cuando la carga es muy elevada la velocidad del motor aumenta para proporcionar la potencia requerida y, cuando la carga es baja, la velocidad disminuye, es decir, el fundamento del actuador es controlar de forma automática el régimen de velocidad del motor sin aceleraciones bruscas, generando la potencia del motor de forma continua. Normalmente el actuador se acopla al dispositivo de entrada del gas natural al motor.(CUMMINS,2011)

## **2.3 MANTENIMIENTO DE CENTRALES TERMoelectricas con M.C.I:**

### **2.3.1 GENERALIDADES:**

La European Federation of National Maintenance Societies define el mantenimiento como: todas las acciones que tienen como objetivo mantener un artículo o restaurarlo a un estado en el cual pueda llevar a cabo alguna función requerida. Estas acciones incluyen la combinación de las acciones técnicas y administrativas correspondientes.

En la industria y la ingeniería, el concepto de mantenimiento tiene los siguientes significados:

- a. Cualquier actividad – como comprobaciones, mediciones, reemplazos, ajustes y reparaciones— necesaria para mantener o reparar una unidad funcional de forma que esta pueda cumplir sus funciones.
- b. Para materiales: mantenimiento
  - ✓ Todas aquellas acciones llevadas a cabo para mantener los materiales en una condición adecuada o los procesos para lograr esta condición. Incluyen acciones de inspección, comprobaciones, clasificación, reparación, etc.
  - ✓ Conjunto de acciones de provisión y reparación necesarias para que un elemento continúe cumpliendo su cometido.
  - ✓ Rutinas recurrentes necesarias para mantener unas instalaciones (planta, edificio, propiedades inmobiliarias, etc.) en las condiciones adecuadas para permitir su uso de forma eficiente, tal como está designado.

Para las Centrales Termoeléctricas de generación de energía se definen las características del mantenimiento según el Procedimiento N° 34 establecido por el Comité de Operación Económica del Sistema COES-SINAC.

La filosofía de mantenimiento se establece para el motor primo de la unidad de generación; todas las demás secciones o partes complementarias y/o auxiliares de la unidad de generación, adecuan su mantenimiento al del motor primo, a fin de obtener la máxima disponibilidad de la unidad de generación.

En el contexto del presente procedimiento, por motor primo se entiende:

- ✓ Al motor de combustión interna en unidades del tipo reciprocante.
- ✓ A la turbina de gas en unidades de ciclo simple o de ciclo combinado.
- ✓ A la turbina de vapor en centrales a vapor.(Renovatec,2009)

### **2.3.2 TIPOS DE MANTENIMIENTO:**

Se tienen los siguientes tipos:

- a. **Mantenimiento Correctivo:** Es la actividad que se realiza para superar un defecto o una avería en algún equipo que ha ocasionado un mal funcionamiento o su inoperatividad dejándolo en condiciones aceptables o normales a su funcionamiento. Generalmente no

es programado y la misma empresa de generación asume su responsabilidad por estas fallas.(Enersur,2013)

- b. Mantenimiento Preventivo: Son las actividades que se realizan cada cierto tiempo preestablecido con la finalidad de reducir la probabilidad de fallas en el equipo y/o perdida de producción (aumentar la confiabilidad del grupo). Esta actividad es programada por la empresa en coordinación con el COES-SINAC y OSINERGMIN, parte de sus gastos son reconocidos por los consumidores. El mantenimiento preventivo puede definirse como la programación de actividades de inspección de los equipos, tanto de funcionamiento como de limpieza y calibración, que deben llevarse a cabo en forma periódica con base en un plan de aseguramiento y control de calidad. Su propósito es prevenir las fallas, manteniendo los equipos en óptima operación.(Enersur,2013)

La característica principal de este tipo de mantenimiento es la de inspeccionar los equipos, detectar las fallas en su fase inicial y corregirlas en el momento oportuno. Con un buen mantenimiento preventivo se obtiene experiencia en diagnóstico de fallas y del tiempo de operación seguro de un equipo. Su importancia radica en lo siguiente:

- ✓ Confiabilidad, los equipos operan en mejores condiciones de seguridad, ya que se conoce su estado, y sus condiciones de funcionamiento.
- ✓ Disminución del tiempo muerto, tiempo de parada de equipos/máquinas.
- ✓ Mayor duración, de los equipos e instalaciones.
- ✓ Disminución de existencias en Almacén y, por lo tanto sus costos, puesto que se ajustan los repuestos de mayor y menor consumo.
- ✓ Uniformidad en la carga de trabajo para el personal de Mantenimiento debido a una programación de actividades.
- ✓ Menor costo de las reparaciones.(Enercur,2013)

- c. Mantenimiento predictivo: Son las actividades que se realizan analizando mediante instrumentos en forma regular la condición operativa de la planta. Se analiza en forma continua los niveles de vibración , muestreo atómico (análisis de aceite de lubricación para establecer el contenido de partículas de desgaste), termografía , mediciones por ultrasonido , eficiencia térmica , ensayos de tinta penetrante ,entre otros ,permitiendo

de esta manera tener más elementos de juicio y decidir si se interviene la unidad cuando es absolutamente necesario. Permite mejoras en la vida útil de la máquina, condición de disponibilidad, disminución de paradas imprevistas, entre otras. Esta actividad es asumida por la propia empresa de generación y los costos no son reconocidos por el COES-SINAC. El mantenimiento Predictivo determina el tiempo óptimo para realizar un mantenimiento específico mediante el monitoreo de la condición y utilización de cada componente. El Mantenimiento predictivo modifica los intervalos de Mantenimiento preventivo en una forma predecible.(Renovatec,2009)

Es proactivo y a la vez reactivo. Es proactivo cuando la información permite diferir los mantenimientos programados de componentes si están operando normalmente.

Es reactivo cuando la información de condición indica un problema que requiere mantenimiento correctivo.

Si se consideran ambos costos de operación y mantenimiento, el Mantenimiento predictivo es considerado más económico.(Renovatec,2009)

### **2.3.3 CATEGORIAS DEL MANTENIMIENTO:**

Las diversas estrategias de mantenimiento adoptadas en las centrales son muy variadas y su finalidad es solucionar el problema de maximizar la disponibilidad y confiabilidad de la planta a un costo razonable. Los fabricantes generalmente establecen programas de mantenimiento muy conservadores, sin embargo en la mayoría de las centrales las empresas mismas han llegado a modificar estos programas y establecer sus propias frecuencias de cambio, en función a un órgano directriz en el Perú, en este caso la función recae en el Comité de Operación Económica del Sistema (COES-SINAC). (COES,2010)

Cada tipo de unidad termoeléctrica (turbogas industrial, turbogas aeroderivativa, turbina de vapor, motor reciprocante, etc.) presenta categorías típicas de mantenimiento, que se repiten o son periódicas en el tiempo, y que son determinadas según la(s) parte(s) más crítica(s) de la unidad y/o la magnitud de la intervención (acá no se refiere, por ejemplo, a inspecciones en marcha o a mantenimiento correctivo menor). El Integrante del COES deberá basar sus categorías de mantenimiento siguiendo las recomendaciones del fabricante del motor primo; complementariamente se tomará en cuenta la experiencia del titular así como las mejores prácticas de la industria que



deberán ser sustentadas. Son actividades que se realizan retirando (sacando de servicio el grupo) la unidad generadora totalmente durante el tiempo que duren estas actividades. Se realiza en coordinación con el COES-SINAC y el OSINERGMIN. (COES,2010)

Para las centrales de generación de energía con motores de combustión interna tenemos las siguientes:

Cuadro N°6 Categoría de Mantenimiento

Categorías	Horas de Operación según el contador (HOE)
Inspección Menor	4,000
Menor	8,000
Intermedio	16,000
Mayor	48,000

Fuente : COES-SINAC

a. Mantenimiento Mayor:

El Overhaul - Overhauling de motores podría ser traducido como una Reparación Mayor, Renovación o Reconstrucción del Motor , mediante la utilización de Overhaul Kits, o Kits de reparación, Kits que incluyen repuestos básicos.

El "Overhaul" es aquel mantenimiento aplicado a un activo o instalación donde su alcance en cuanto a la cantidad de trabajos incluidos, el tiempo de ejecución, el nivel de inversión o coste del mantenimiento y requerimientos de planificación y programación son de elevada magnitud (con respecto al mantenimiento operacional), dado que la razón de este tipo de mantenimiento reside en la restitución general de las condiciones del servicio del activo, bien sea desde el punto de vista de diseño o para extender su vida útil con la mínima probabilidad de fallo (confiabilidad) y dentro de los niveles de desempeño o eficiencia requeridos. (Da Silva,2013)

Los trabajos de Mantenimiento Overhaul - Overhauling en motores diesel suelen incluir la sustitución de juntas, rodamientos, casquillos, camisas de cilindros, pistones, segmentos, filtros, muelles, etc..

También llamado cero horas. conjunto de tareas cuyo objetivo es revisar los equipos a intervalos programados antes de que aparezca ningún fallo, o bien cuando la fiabilidad del equipo ha disminuido de manera apreciable que es arriesgado hacer preveer sobre

su capacidad. Consiste en dejar el equipo a Cero horas de funcionamiento, es decir, como nuevo. Se sustituyen o reparan todos los elementos sometidos a desgaste. Se pretende asegurar, con una alta probabilidad un buen tiempo de funcionamiento fijado de antemano(Da Silva,2013)

b. **Mantenimiento Intermedio:**

El Mantenimiento anual o bi-anual es un planteamiento intermedio. Se programa una parada anual – o con otra frecuencia - del equipo, y durante la misma se analiza con detalle todos sus órganos y se toman las medidas correctivas necesarias. Hasta que llega ese momento, en caso de avería se procura mantener la actividad con reparaciones elementales, que permitan seguir la marcha más o menos aceptablemente. Su utilización cada vez es menor, aunque se emplea para grandes reconstrucciones (overhaul). (Da Silva,2013)

c. **Mantenimiento Menor:**

Se define como la ejecución de los trabajos para conservación o reparación de los componentes o sistemas de una máquina , cuya finalidad es reducir el deterioro, la depreciación acelerada o corregir fallas o descomposturas y, se ejecuta para restablecer las condiciones de utilidad y operación adecuada del mobiliario o instalaciones y que estos funcionen normalmente.(De Bona,1999)

Será mantenimiento menor cuando estos trabajos sean de escasa complejidad técnica y bajo monto. Este tipo de mantenimiento representa un instrumento de reducción de costos en la conservación del motor de combustión interna y el generador eléctrico, al solucionar problemas que de no atenderse a la brevedad podrían causar interrupciones inesperadas en las actividades desempeñadas por las diferentes áreas.(Da Silva,2013.)

#### **2.3.4 COSTOS DEL MANTENIMIENTO:**

a. **PROCEDIMIENTO N° 34-COES**

En la programación y planificación de la operación es necesario conocer, al menos en forma aproximada, cuáles serán los costos de mantenimiento de las unidades de generación termoeléctricas en que se incurrirá en el futuro producto de la operación del

presente, para lograr el cumplimiento del objetivo de optimización de la operación del sistema. Por lo general, la necesidad de información se centra en conocer los costos variables de mantenimiento, los costos fijos anuales de mantenimiento y los costos de mantenimiento por arranque.(COES,2010)

En estricto, un costo variable es aquel que varía proporcionalmente con el volumen de actividad o nivel de producción -KWh- y que puede ser expresado con un coeficiente estándar por nivel de producción -\$/KWh- (costo operativo). A su vez, un costo fijo, es aquel que no depende del nivel de producción, sino sólo del tiempo entendido como calendario -\$/año- (costo comprometido). La consideración del momento oportuno de efectuar un tipo específico de mantenimiento en una determinada unidad de generación térmica, depende de la acumulación de cierta cantidad de horas de operación (diferentes a horas calendario), de la acumulación de un cierto número de arranques, o en otras a una combinación de eventos más o menos complicada que normalmente incluye las dos anteriores. (COES,2010)

Es evidente, que los costos de mantenimiento en cualquier actividad industrial (no sólo en el caso de unidades de generación termoeléctricas), no dependen estrictamente del nivel de producción ni estrictamente del tiempo calendario, es decir que, no son absolutamente variables con el nivel de actividad ni son absolutamente fijos que no dependan para nada del mismo. Pero dada la necesidad de desagregar los costos de mantenimiento entre variables y fijos, debe aceptarse inicialmente que cualquier solución al problema planteado es una aproximación, una solución de compromiso con ciertas limitaciones; esto por la naturaleza misma de los costos de mantenimiento en general; cualquier metodología que se presente tendrá alguna limitación al tratar de representar la realidad.(COES,2010)

El presente procedimiento presenta la metodología a aplicarse para determinar los costos de mantenimiento desagregados en sus componentes: variable (Costo Variable de Mantenimiento CVM) y fijo (Costo Fijo Anual de Mantenimiento CFAM y/o Costo de Mantenimiento por Arranque CMarr) de las diversas unidades termoeléctricas del SEIN.

**b. LISTA DE REPUESTOS Y COSTOS:**

Serán considerados los costos directos de la labor de mantenimiento de la unidad de generación; ningún costo asignado de cualquier otra instalación diferente a la propia

unidad de generación y/o costos generales serán aceptados. Se supondrá idealmente que en el mismo instante de tiempo se hace el pedido, se efectúa el mantenimiento y se hace el pago por los repuestos y servicios necesarios en cada oportunidad. Los repuestos necesarios para cada categoría de mantenimiento se deben obtener de las recomendaciones y manuales del fabricante así como de la propia experiencia de la Empresa propietaria. (COES,2010)

El listado de los repuestos e insumos necesarios para cada categoría de mantenimiento, debe ser presentado por el generador, especificando como mínimo, la denominación, la cantidad necesaria y precios FOB unitarios, indicando la correspondiente área o sección de la unidad intervenida. Dicho listado debe ser completo y suficiente para sustentar los cálculos realizados. Esta información será revisada por el COES. A los precios FOB de los repuestos, deben agregarse los costos de internamiento respectivos (flete, seguro, aranceles, y todo impuesto que no genere crédito fiscal) a las tasas vigentes en cada oportunidad. Para una mayor eficiencia de costos en la gestión del mantenimiento, se deberá optimizar el uso de los repuestos al considerarse su reutilización una vez reparados en fábrica, ya que muchas veces son los repuestos nuevos de estas partes reutilizables las de mayor costo; se tomará en cuenta para el efecto de las recomendaciones del fabricante en cuanto a que piezas o componentes son reparables, al número o porcentaje esperado de piezas o componentes reparables, no reparables y de piezas o componentes reinstalables sin reparación, así como el número de veces que cada parte es reparable y/o reutilizable; ante la falta de recomendaciones del fabricante se tomará en cuenta la experiencia del titular.(COES,2010)

Se considerarán como costos de mantenimiento también a los contratos de alquiler de herramientas o utilería especial, así como los contratos de asesoría especializada y mano de obra especializada durante los trabajos de mantenimiento de cada categoría de mantenimiento. Los costos de personal de operación y mantenimiento propio de la empresa no serán considerados como costos de mantenimiento. También podrán ser considerados los costos de mantenimiento menor de conservación de la unidad de generación, costos que pueden considerarse que no son función del contador (horas de operación, HEO, arranques, etc.), sino que pueden considerarse como costos anuales calendarios. Cuando se tengan que repartir costos comunes de mantenimiento de

instalaciones auxiliares que operen para varios motores primos, el titular deberá proponer y sustentar el factor de reparto.(ISO,2002)

**c. COSTOS DE MANTENIMIENTO:**

El costo de mantenimiento tiene tres componentes:

- ✓ Costo Fijo Anual de Mantenimiento: Está relacionado a los costos fijos que debe hacerse a una central termoeléctrica en función a los datos del fabricante o por garantía de la máquina, establecidos en el programa de venta de la máquina. Su costo es remunerado a la empresa por los usuarios.(COES,2010)
  
- ✓ Costo Variable de Mantenimiento: Establecido por el Procedimiento N° 34 COES, y afecta al costo variable no combustible y al costo de operación de la central en el ordenamiento del despacho de la generación de energía. ES el costo de mantenimiento sujeto a la frecuencia de operación de la máquina y desgaste de componentes.(COES,2010)
  
- ✓ Costo de arranque y parada: Definido el ítem 2.4.4. Es el costo en que se incurre por la puesta en servicio de una unidad termoeléctrica. Su valor es nulo si la unidad no se arranca o si la unidad ya se encuentra en servicio, y pleno valor en caso que la unidad se arranque y luego se retire de servicio(COES,2010)

**2.4 ARRANQUES DE UNA CENTRAL TERMoeLECTRICA:**

**2.4.1 GENERALIDADES:**

El arranque es uno de los momentos cruciales, ya que se pone en marcha un sistema complejo con múltiples subsistemas y todos deben funcionar de forma correcta, en su orden y en el momento adecuado. Los diferentes tipos de arranques se pueden clasificar según la temperatura de la carcasa y del rotor en el momento de iniciarlos, esta clasificación variara dependiendo de quién nos hable del tipo de arranque el fabricante del motor de combustión interna o el operador.(Da Silva,2013)

Es muy importante para el cálculo preciso de los tiempos de arranque definir los diferentes tipos de arranque que pueden darse en una central termoeléctrica . Hay que tener en cuenta que los programas de carga pactados con el mercado eléctrico o el orden de despacho de la generación previsto por el COES que deben cumplirse, pues las repercusiones económicas derivadas de un incumplimiento son notorias. Por otro lado, el rendimiento de la planta (consumo de combustible frente a producción de energía eléctrica) son bajos a cargas bajas, y notablemente bajos en los procesos iniciales. Por tanto, tampoco es económicamente factible asegurar el cumplimiento del programa pactado con el mercado eléctrico introduciendo grandes márgenes de seguridad en cada uno de las fases del arranque, pues esto hace que el proceso sea mucho más gravoso. La decisión acertada es, pues, determinar con exactitud la duración del proceso de arranque. Como ese tiempo no es siempre el mismo, sino que depende de las condiciones presentes en la planta en el momento del arranque, para poder determinar la duración con precisión es necesario diferenciar los diversos tipos de arranque que pueden darse dependiendo de las condiciones al inicio.(Da Silva,2013)

#### **2.4.2 CLASIFICACION:**

##### **a. SEGÚN LOS FABRICANTES:**

- ✓ •Arranque en frío se produce a las 72 horas o más después de la parada.
  
- ✓ •Arranque templado esta entre las 24 y 72 de producirse la parada.
  
- ✓ •Arranque caliente se produce en menos de 24 horas de que se haya producido la parada, puede ser al poco de producirse la para si dicha parada a sido provocada por una avería fácil de solucionar o por una falsa alarma.(Da Silva,2013)

##### **b. SEGÚN LA OPERACIÓN:**

- ✓ Arranque superfrío. Después de una parada programada, sin virador. El virador es una máquina encargada de hacer girar el rotor a muy bajas revoluciones para que se enfríe de forma homogénea y con ello evitar que se deforme. Al ser un

arranque después de una parada programada todo la turbina este bien fría ya que se ha procedido a su revisión.

- ✓ Arranque frío se produce después de más de 72 horas de parado el motor de combustión interna.
- ✓ Arranque templado entre 24-72 horas de estar parada el motor de combustión interna.
- ✓ Arranque caliente entre 3-24 horas después de parar nuestro motor de combustión interna.
- ✓ Rearranque inmediatamente después de un disparo, se produce después de un disparo porque algún sensor ha dado un aviso y se ha corregido rápidamente o ha sido una falsa alarma, o se están haciendo pruebas, este también suele ser el tipo de arranque que más disparos produce.(Cummins,2011)

**c. SEGÚN EL CONTROL DE ENCENDIDO DEL GENERADOR:**

- ✓ **ARRANQUE MANUAL (sin conmutador de carga):** Hay que disponer de cables de extensión hasta el lugar de utilización y enchufar cargas a ellos hasta alcanzar la capacidad del generador. Este sistema aunque es el menos caro es también el más incómodo. La primera condición que exige es que debe haber alguien en el lugar de utilización que sepa cómo arrancar y conectar el equipo.(Da Silva,2013)
- ✓ **ARRANQUE MANUAL (con conmutador de carga):** En la siguiente figura se muestra un conmutador capaz de manejar toda la carga. Éste es independiente de la capacidad del generador, debido a que sus contactos deben poder soportar toda la corriente de carga en condiciones normales de funcionamiento. Cuando esté trabajando el generador será necesario desconectar algunas cargas para no exceder su capacidad.(Da Silva,2013)
- ✓ **ARRANQUE ELÉCTRICO (con conmutador manual de carga):** Para poner en marcha el grupo debe pulsarse el botón de arranque. Una vez arrancado el grupo electrógeno, se coloca el conmutador de carga en la posición "generador". La siguiente figura muestra el método para incorporar la

conmutación del suministro de energía de la línea a un grupo de circuitos de emergencia escogidos.(Da Silva,2013)

- ✓ **ARRANQUE ELÉCTRICO (con control automático):** Si se emplea el sistema de conmutador de carga el generador debe dimensionarse para soportar la carga máxima. Si no se hace así, existirá la posibilidad de un paro del motor a causa de la sobrecarga. Si se emplea el sistema de arranque eléctrico se permite usar un generador de menor potencia, así el conmutador también de menor. Esto se traduce en un ahorro en el coste. Estas conexiones se usan cuando se quiere proteger contra determinados riesgos. (Da Silva,2013)

#### **2.4.3 IMPLICANCIAS DEL ARRANQUE EN UNA MAQUINA:**

La diferencia fundamental está en la temperatura de la carcasa y del rotor en el momento de inicio del arranque, debido a que la carcasa y el rotor se calientan a diferente ritmo, la carcasa tarda más en calentarse ya que tiene mayor masa que el rotor y por lo tanto también tarda más en enfriarse, la subida de temperatura en carcasa y rotor debe ser lenta, para evitar estrés térmico por diferencia de temperatura en el metal. (Da Silva,2013)

#### **2.4.4 COSTO DEL ARRANQUE-PARADA:**

Es el costo en que se incurre por la puesta en servicio de una unidad termoeléctrica. Su valor es nulo si la unidad no se arranca o si la unidad ya se encuentra en servicio, y pleno valor en caso que la unidad se arranque y luego se retire de servicio.

$$CA_{ct} = CC_{bef} + CM_{arr} \dots \dots \dots (14)$$

De donde :

$CC_{bef}$  = costo de combustible de arranque-parada y de baja eficiencia en las rampas de carga-descarga (U\$/./arrq).

$CM_{arr}$  = costo de mantenimiento por arranque-parada (U\$/./arrq)

- ✓ **COSTO DEL COMBUSTIBLE DE ARRANQUE-PARADA Y DE BAJA EFICIENCIA EN LAS RAMPAS DE CARGA Y DESCARGA:**



Son los costos por el combustible consumido en el proceso de arranque y parada, así como los costos de combustible reconocidos por consumo a baja eficiencia en los períodos de carga y descarga de la unidad termoeléctrica.

CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN LOS PROCESOS DE ARRANQUE Y PARADA ( $G_a$ ,  $G_p$ ) :Considera el consumo de combustible incurrido por la unidad termoeléctrica durante el proceso de arranque hasta antes de la puesta en paralelo, así como en el proceso de parada después de salir del paralelo, tal como se encuentra en la figura siguiente.

COMBUSTIBLE RECONOCIDO EN LOS PROCESOS DE TOMA DE CARGA Y DE DESCARGA ( $G_c$ ,  $G_d$ ) : Son los consumos reconocidos por operación a baja eficiencia inherentes al proceso de toma de carga de la unidad, así como la de descarga desde la instrucción de parada del Coordinador del SEIN, tal como se encuentra en la figura siguiente.

El combustible reconocido en las rampas de carga y descarga de la unidad, se determina como la diferencia del consumo real durante la rampa y el consumo de combustible para generar la energía de dicha rampa a la eficiencia de potencia efectiva de la unidad. (COES,2010)

$$CC_{bef} = cc * G_i * PC_{inf} * ge_{comb} \dots \dots (15)$$

$G_i$  = Consumo de combustible en los procesos de arranque ( $G^a$ ) y parada ( $G^p$ ), combustible reconocido en la rampa de toma de carga al 100% ( $G^c$ ) y en la rampa de descarga al 0% ( $G^d$ ), de la unidad  $i$  (gal., Kg., pie<sup>3</sup>)

$$G_i = G^a + G^p + G^c + G^d \dots \dots (16)$$

Estos consumos de combustible serán sustentados por el generador en base a pruebas y documentación del fabricante y aprobados por la DOCOES.

$PC_{inf}$  = Poder calorífico inferior del combustible (BTU/Kg).

$ge_{comb}$  = Gravedad específica del combustible a condiciones de potencia efectiva (Kg/gal, Kg/ pie<sup>3</sup>).

En la siguiente figura se muestra el proceso de arranque, rampa de carga, operación, rampa de descarga y parada de la unidad térmica:

$t^a$ ,  $t^p$  tiempos de arranque y parada.

$t^c, t^d$  tiempos en rampa de carga y descarga.

$t^o, E^g$  tiempo de operación normal y energía generada.

$G^a, G^p$  consumos de combustible en el arranque y en la parada.

$G^c, G^d$  combustible reconocido en la rampa de carga y descarga.

$E^c, E^d$  energías generadas en los períodos de carga y descarga.

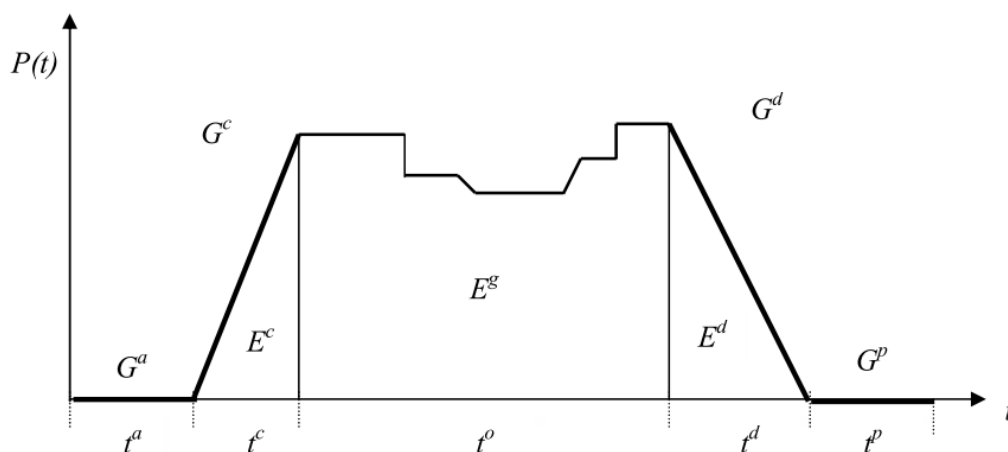


Figura N° 33 Periodo de arranque parada para una central Termoeléctrica  
Fuente: OSINERGMIN

✓ **COSTO DE MANTENIMIENTO POR ARRANQUE:**

Es la parte de los costos de mantenimiento que son función de los arranques de la unidad térmica, y que se obtiene mediante la metodología descrita en el procedimiento PR-N° 34.

$$CM_{arr}$$

$$= \text{Parte fija del Costo de Mantenimiento por arranque} \left( \frac{U\$}{MWh} \right) \dots (17)$$

**2.4.5 DETERMINACION DEL NUMERO DE ARRANQUES DE UNA CENTRAL TERMOELECTRICA:**

**a. GENERALIDADES:**

- ✓ **FLUJO DE MANTENIMIENTO Y COSTOS ASOCIADOS :** Con la información de las categorías de mantenimiento y de los periodos de mantenimiento, así como de los costos involucrados en cada oportunidad proporcionados por el Integrante de COES, se debe elaborar un flujo de mantenimiento y de costos asociados

función del contador, es decir, dependiendo de la tecnología de la unidad, función de las horas de operación, de las HEO (Horas Equivalentes de operación), de los arranques u otro (todavía no en función de las horas calendarías).(COES,2010)

- ✓ **NÚMERO DE ARRANQUES:** La estimación del número de arranques por año será determinada con la información histórica de arranques de la unidad de los últimos cuatro (4) años. Los números de arranques utilizados serán contrastados con la base de datos del COES para su validez. El número de arranques estará en función del orden de operación y despacho cuando se designa a la central termoeléctrica para poder entrar en operación como unidad de base , punta o de regulación de la generación.(ISO,2002)
  
- ✓ **HORAS DE OPERACIÓN:** La estimación de las horas de operación por año será determinada con la información histórica de las horas de operación de la unidad de los últimos cuatro (4) años. Las horas de operación utilizadas serán contrastadas con la base de datos del COES para su validez. Siguiendo lo establecido en el Procedimiento N° 34, es necesario establecer un Contador que permita determinar el tiempo recomendado para las intervenciones de mantenimiento. En el caso de la unidad que tratamos, el fabricante recomienda el uso de las Horas Equivalentes de Operación (HEO), determinado en base a las horas de operación y el número de arranques de la unidad medido través de la siguiente fórmula: (COES,2010)

$$HEO = HO + (20 * N_{arr}) \dots \dots (18)$$

Dónde:

HEO: Horas Equivalentes de Operación

HO: Horas de Operación

N<sub>arr</sub>: Número de arranques

**b. METODOLOGIA PARA EL CALCULO DE NUMERO DE ARRANQUES:**

- ✓ La información histórica de los arranques (población) será considerada de los últimos cuatro años. Para las unidades que no tengan registro histórico de 4

años, por ejemplo, unidades nuevas , se podrá aceptar como mínimos dos años de registro histórico.

- ✓ El número de arranques históricos por año ( $S_{historico}$  ) será la suma de todos los arranques mensuales durante un año. La ecuación empleada es la siguiente:

$$S_{historico} = \sum_{i=1}^{12} S_i \dots \dots \dots (19)$$

Donde :

$S_i$  = Numero de arranques por mes (  $i= 1,2,\dots,12$ )

$S_{historico}$  = Numero de arranques históricos por año (  $1,2,\dots$ )

- ✓ Para las unidades termoeléctricas que operen con diferentes combustibles , el número total de arranques por mes ( $S_i$  ) será la suma de arranques por cada tipo de combustible por mes ( $S_{in}$  ) , la ecuación a emplear es la siguiente:

$$S_i = S_{ai} + S_{bi} + S_{ci} + \dots + S_{ni} \dots \dots \dots (20)$$

Dónde:

$S_{ni}$  = Numero de arranques por tipo de combustible.

$S_i$  = Numero de arranques por mes ( $i= 1,2,\dots, 12$ )

- ✓ El número de arranques por año será determinado con la media aritmética (promedio) del número de arranques históricos por año(  $S_{historico}$ ) de los últimos cuatro años.

$$S_{anual} = \frac{\sum_{i=1}^4 S_{historico}}{n} \dots \dots \dots (21)$$

Donde:

$S_{anual}$  = Numero de arranques al año.

$S_{historico}$  = Numero de arranques históricos por año (1,2,3,4)

El resultado del número de arranques por año será redondeado por exceso .

Si el número de arranques históricos por año  $S_{\text{anual}}$  es igual a cero o no se tiene la cantidad mínima de años de registros históricos exigidos, el COES definirá un número de arranques de acuerdo a los registros históricos de una unidad semejante, considerando el tipo de tecnología, rango de potencia y/o régimen de operación. (COES, 2010)

#### **2.4.6 DETERMINACION DE LOS ESCENARIOS DE OPERACIÓN:**

Los escenarios de operación que serán considerados son los siguientes:

- a. CERO HORAS DE OPERACIÓN ANUAL : para obtener el costo fijo de mantenimiento.
- b. MÍNIMO HORAS DE OPERACIÓN ANUAL: que corresponde al mínimo horas de operación anual de la información histórica de los últimos cuatro (4) años. Para las unidades que no tengan registro histórico de 4 años, por ejemplo para unidades nuevas, se podrá aceptar como mínimos dos (2) años de registro histórico.
- c. PROMEDIO DE HORAS DE OPERACIÓN ANUAL, que corresponde la media aritmética (promedio) de la información histórica de los últimos cuatro (4) años. Para las unidades que no tengan registro histórico de cuatro (4) años, por ejemplo unidades nuevas, se podrá aceptar como mínimos dos (2) años de registro histórico.
- d. MÁXIMO HORAS DE OPERACIÓN ANUAL : que corresponde a una operación extrema es igual a las 8760 horas del año, menos las indisponibilidades. Las indisponibilidades se determinan como la suma del promedio de número de horas de indisponibilidad por salidas programadas y el promedio de número de horas de indisponibilidad por salidas forzadas. Esta información será tomada de la información histórica de los últimos cuatro (4) años.

Si las horas de operación históricas por año es igual a cero o no se tiene la cantidad mínima de años de registros históricos exigidos, el COES definirá los escenarios de operación de acuerdo a los registros históricos de una unidad semejante considerando el tipo de tecnología, rango de potencia y/o régimen de operación. (Enersur, 2013)

## 2.5 DESPACHO Y ORDENAMIENTO DE LA GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA:

El orden de mérito para despacho se obtiene, dividiendo los costos variables de generación entre los Factores de Pérdidas Marginales correspondientes. Para el análisis de flujo de potencia y cálculo de los Factores de Pérdidas Marginales se utiliza un programa de flujo de potencia apropiado. Las potencias hidráulicas consideradas son las potencias promedios del despacho y las potencias térmicas son tomadas del resultado de una simulación utilizando un programa de flujo de potencia óptimo. La barra de referencia es la S.E. Santa Rosa 220 kV, por lo que su factor de pérdidas marginales es igual a la unidad (1.0). El análisis de flujo de potencia, toma en cuenta las restricciones operativas de las centrales y el ingreso de éstas, de acuerdo al criterio de minimización del costo total de operación semanal. Los resultados de los análisis de flujo de potencia, no mantienen necesariamente relación directa con la información en tiempo real, debido a que los flujos representan el comportamiento promedio de bloques horarios y además la demanda es estimada basándose en la información histórica. Se tiene el siguiente ordenamiento de despacho de centrales termoeléctricas que cubren los picos de demanda periodo 2013-2014 y sus costos variables combustibles. Estas centrales termoeléctricas por lo general compiten para poder generar energía eléctrica en horas de máxima demanda ante la entrada en servicio de las Centrales de Ciclo Combinada Kallpa 850 MW , Chilca 810 MW y Fénix Power de 540 MW., (Renovatec,2009)

Cuadro N° 7 CVC de Centrales Termoeléctricas en competencia por el despacho

N°	NOMBRE	CVC	CVNC	CO
1	Independencia (GE)	21.73	4.5	26.23
2	TG El Tablazo	24.18	4	28.18
3	TG Oquendo (Cogeneración)	25.21	4	29.21
4	TG 8 Santa Rosa	25.21	4	29.21
5	TG Las Flores	27.4	2.9	30.10

Fuente: OSINERGMIN

**CAPITULO III:**

**MATERIALES Y METODO**

### 3.1 MATERIALES:

#### 3.1.1 SUSTANCIAS:

##### a. GAS NATURAL:

Es un hidrocarburo de origen fósil, que se encuentra normalmente en el subsuelo continental o marino. Para el Perú la principal reserva es de 17 TCF ubicada en la localidad de Camisea, lotes 88 y 56.

El gas natural se puede encontrar en forma "asociado", cuando en el yacimiento aparece acompañado de petróleo, o gas natural "no asociado" cuando está acompañado únicamente por pequeñas cantidades de otros hidrocarburos o gases.

La composición del gas natural incluye diversos hidrocarburos gaseosos, con predominio del metano, en un 87 %, etano 12 % y 1% en proporciones menores etano, propano, butano, pentano y pequeñas proporciones de gases inertes como dióxido de carbono y nitrógeno.

El suministro del gas natural se puede realizar mediante gasoductos físicos con un costo de 1'000,000 U\$/km o por medio de gasoductos virtuales en forma de GNC( Gas Natural Comprimido a 200 Bar y 20 °C ) o como GNL (Gas Natural Licuado a 1 Bar y -161 °C)

El gas natural es abastecido a través de un ramal de 4 km desde el gasoducto principal de Gas Natural entrante a la ciudad de Pisco , abastecido directamente por la empresa Transportadora de Gas del Perú , con lo cual no tiene en el precio unitario el componente de distribución.

Las propiedades más saltantes del gas natural son las siguientes:

Cuadro N° 8 Propiedades fisicoquímicas del Gas Natural del Perú

N°	Propiedad	Unidad
1	Densidad promedio a 1 Bar y 15 °C	0.664 kg/m <sup>3</sup>
2	Poder calorífico inferior	50.0 Mj/kg
3	Relación de conversión	28 m <sup>3</sup> /MMBTU
4	Numero de Octano	130
5	Precio de Venta Generador Pisco	2.58 U\$/MMBTU
6	Precio de Venta Generador Lima	2.65 U\$/MMBTU

Fuente: OSINERGMIN



### 3.1.2 EQUIPO:

Se tienen las especificaciones técnicas para las 4 unidades conformantes de la Central Termoeléctrica Independencia:

- ✓ El Motor generador Wärtsilä 18V34SGA2 es un motor de gas de encendido por chispa de cuatro tiempos que funciona de acuerdo con el proceso de Otto y el principio de mezcla pobre.
- ✓ El motor ha portado la admisión de gas y una antecámara con una bujía de encendido.
- ✓ El Motor generador Wärtsilä 18V34SGA2 combina la alta eficiencia con bajas emisiones. Esto se logra aplicando tecnología de última generación con características que incluyen :El uso de una mezcla de gas pobre para la combustión limpia , Control de la combustión individual y seguimiento , proporcionando incluso la carga en todos los cilindros , Combustión estable , garantizado por un sistema de encendido de alta energía y de cámara con pre combustión



Figura N° 34 Enfriadores de los Grupos Wartsila

Fuente: Wartsila

✓ Se tienen los siguientes detalles:

Cuadro N° 9-A Especificaciones técnicas MCI 1-2-3 y 4 conformante de la Central  
Termoeléctrica Independencia

N°	Parámetro	Detalle
1	Marca	Wartsila
2	Tipo de Combustible	Gas Natural
3	Modelo	18V34SGA2
4	N° de Cilindros	18 en V
5	Adelanto al encendido	10°
6	Potencia Térmica suministrada MCI	14.0 MW
7	Flujo de combustible 100 % -Prime	899.5 pie <sup>3</sup> /minuto
8	Potencia al eje del MCI	7.0 MW
9	Temperatura agua enfriamiento	95 °C
10	Temperatura aceite	60 °C
11	Temperatura de culata	130 °C
12	Presión de sobrealimentación	1.25 Bar
13	Tasa de compresión	16:1

Fuente: EGESUR

Cuadro N° 9-B Especificaciones técnicas Generadores 1,2,3 y 4 conformantes de la  
Central Termoeléctrica Independencia

N°	Parámetro	Detalle
1	Marca	Wartsila
2	Modelo	Generador de imán permanente
3	Potencia Efectiva	6.25 MW
4	Potencia Aparente	6.8 KVA
5	Factor de Potencia	0.92
6	Tensión	10.5 kV
7	Frecuencia	60 Hz
8	Velocidad	700 rpm
9	Sistema en enfriamiento	IC 1
10	Clase de Aislación	H
11	Tipo de Protección	IP 23

Fuente: EGESUR



Figura N° 35 Grupos Westfalia conformantes de la CT Independencia

Fuente: Westfalia

### 3.1.3 REPORTE:

#### a. REPORTE HISTORICO DE ARRANQUES:

Se tiene los siguientes reportes históricos de arranque, en el sentido de que las 4 unidades operan en paralelo:

Cuadro N° 10 Reporte Histórico según número de arranques de Generadores 1,2,3 y 4 conformantes de la Central Termoeléctrica Independencia

AÑO	2008	2009	2010	2011	2012	2013
UNIDAD 1	R.F.D(12)	R.F.D(9)	101	312	326	234
UNIDAD 2	R.F.D(12)	R.F.D(9)	75	258	303	218
UNIDAD 3	R.F.D(12)	R.F.D(9)	92	304	301	207
UNIDAD 4	R.F.D(12)	R.F.D(9)	80	322	302	213
<b>R.F .D =Condición de Reserva Fría Disponible (con Petróleo BD2)</b>						

Fuente : COES-SINAC

#### b. REPORTE HISTORICO DE GENERACION:

Se tiene los siguientes reportes históricos de arranque, en el sentido de que las 4 unidades operan en paralelo:

Cuadro N° 11 Generación de Energía (GWh-año) por unidades conformantes de la Central Termoeléctrica Independencia

AÑO	2010	2011	2012	2013
UNIDAD 1	31.2	39.3	37.4	39.2
UNIDAD 2	32.0	38.0	36.9	34.1
UNIDAD 3	31.0	39.2	37.2	34.2
UNIDAD 4	30.8	37.2	38.0	34.5

Fuente : COES-SINAC

**c. REPORTE HISTORICO DE HORAS DE OPERACION:**

Se tiene los siguientes reportes históricos de arranque, en el sentido de que las 4 unidades operan en paralelo:

Cuadro N° 12 Reporte Histórico Horas de Operación por unidades conformantes de la Central Termoeléctrica Independencia

AÑO	2010	2011	2012	2013
UNIDAD 1	3170	4616	6857	7208
UNIDAD 2	3642	3991	6776	7261
UNIDAD 3	2972	4627	6863	6984
UNIDAD 4	2859	4366	6875	7268

Fuente : COES-SINAC

**3.2 METODO DE INVESTIGACION:**

**3.2.1 METODOLOGIA DE DESAGREGACION DE COSTOS:**

Se tienen en cuenta los siguientes criterios:

- a. Se deberán simular escenarios de operación posibles de efectuar, según el ítem 2.3.3, durante la vida útil de la unidad termoeléctrica, inmersa en el sistema eléctrico interconectado. Para el efecto, se aceptará la simplificación de que en cada cálculo, la unidad operará durante toda su vida útil sólo bajo una condición de operación anual (un escenario posible). La variedad de condiciones de operación anuales con las que operará en la realidad se toma en cuenta (al menos al nivel teórico) al promediar los resultados de cada una de las condiciones teóricas evaluadas.
- b. Para cada diversa tecnología, los escenarios de operación deberán basarse en lo siguiente:

- ✓ Turbinas a gas y ciclo combinados: familias de operación en función del número de arranques por año ( $S_{\text{anual}}$ ) y del número de horas de operación.
  - ✓ Motores recíprocos o de combustión interna: familias de operación de horas de operación anuales.
  - ✓ Turbinas a vapor: familias de operación de horas de operación anuales.
- c. Cada escenario de operación anual deberá extenderse para la vida útil de la unidad de generación. Para el efecto se considerará en todos los casos una vida útil de 20 años, es decir, la operación deberá elaborarse suponiendo que la unidad fuera nueva, no importando la antigüedad real de la unidad.
- d. Todos los escenarios de operación se efectuarán suponiendo que la unidad de generación operará siempre al nivel de la Potencia Efectiva vigente reconocida por el COES. De esta manera, las horas de operación anuales se determinan como el cociente de la producción anual y la potencia efectiva de la unidad. De la misma manera, si la simulación se efectuara a partir de horas de operación anuales, la producción anual se determinará considerando un nivel de potencia igual al de potencia efectiva.
- e. En los escenarios de operación no se considerarán operaciones de tipo especial, como arranques y tomas de carga rápidas, generación a potencias mayores a la potencia efectiva reconocida, etc.
- f. Para cada escenario de operación considerado (o familias de operación), el flujo de mantenimiento y el correspondiente flujo de costos asociados (hasta ahora expresados en función del contador), deberán ser re expresados en función de horas calendario, producto del propio escenario de operación simulado. Luego de lo cual, se deberá calcular el costo total actualizado del mantenimiento a lo largo de la vida útil de la unidad, así como la anualidad representativa de dicho costo total también a lo largo de la vida útil de la unidad.
- g. La tasa de actualización deberá ser la fijada en el Artículo 79° de la Ley de Concesiones Eléctricas. La anualidad de los costos totales de mantenimiento de la unidad se expresará también en función de la producción anual de energía de cada escenario de la operación.

### **3.2.2 COSTO VARIABLE DE MANTENIMIENTO:**

La pendiente de la regresión lineal de las anualidades del costo total de mantenimiento en función de la producción anual de energía de la unidad para todos los escenarios de las operaciones consideradas, será considerada como el costo variable de mantenimiento CVM de la unidad. En el caso de unidades de generación donde el contador considera “número de arranques”, el CVM será determinado con la pendiente de la regresión lineal de las anualidades del costo total de mantenimiento en función de la producción anual de energía de la unidad para el número de arranques por año ( $S_{\text{anual}}$ ).

### **3.2.3 COSTO FIJO ANUAL DE MANTENIMIENTO (CFAM) Y COSTO TOTAL DE MANTENIMIENTO:**

El intercepto con las ordenadas de la regresión lineal de las anualidades del costo total de mantenimiento en función de la producción anual de energía de la unidad para todos los escenarios de las operaciones consideradas, será considerado como el costo fijo anual de mantenimiento (CFAM) de la unidad.

En el caso de unidades de generación donde el contador considera “número de arranques”, el CFAM será determinado con el intercepto con las ordenadas de la regresión lineal de las anualidades del costo total de mantenimiento en función de la producción anual de energía de la unidad para el número de arranques por año ( $S_{\text{anual}}$ ). En este último caso, el cociente de CFAM determinado y el número de arranques por año ( $S_{\text{anual}}$ ), será considerado como el costo de mantenimiento por arranque ( $CM_{\text{arr}}$ ) de la unidad.

### **3.2.4 DETERMINACION DE LA VARIABILIDAD DEL COSTO DE MANTENIMIENTO EN FUNCION DEL NUMERO DE ARRANQUES**

Se determina la variabilidad del costo promedio de la Central Termoeléctrica Independencia en función al número de arranques.

### **3.2.5 DETERMINACION DEL COSTO DE OPERACIÓN Y ORDEN DE DESPACHO**

Se determina el costo de operación total promedio de la Central Termoeléctrica Independencia y su orden de despacho.



**CAPITULO IV:**  
**CALCULOS**  
**Y**  
**DISCUSION DE RESULTADOS**



#### 4.1 CALCULO DE INDICADORES TECNICOS Y ECONOMICOS:

4.1.1 **PARAMETROS TECNICOS:** Se tiene en cuenta que las 4 unidades operan bajo las mismas condiciones:

a. **POTENCIA TERMICA SUMINISTRADA:**

Aplicando la ecuación N° 2:

$$P_{sum} = \dot{m}_c * PCI$$

$\dot{m}_c$  ( Flujo del combustible) = 899.5 pie<sup>3</sup>/minuto según Cuadro n° 8 = 25.47 m<sup>3</sup>/min

Se tiene una densidad de 0.664 kg/m<sup>3</sup> y un factor de conversión de 1 MMBTU= 28 m<sup>3</sup> de gas natural.

$$\dot{m}_c = 25.47 \frac{m^3}{min} * \frac{1 min}{60 seg.} * 0.664 \frac{kg}{m^3} = 0.2814 \frac{kg}{sg}$$

PCI ( Poder calorífico inferior del combustible ) = 50 MJ/kg

$$P_{sum} = 0.2814 * 50 = 14.07 MW$$

b. **EFICIENCIA DE PLANTA:**

Para la determinación de la eficiencia de planta se hace uso de la ecuación N° 3 , teniendo como Potencia efectiva el valor de 6.25 MW

$$\eta_{planta} = \frac{6.25}{14.07} * 100 \% = 44.4 \%$$

c. **HEAT RATE:**

Para la determinación del Heat rate y la Tasa de Calor se hace uso de la siguiente ecuación:

$$Heat Rate = \frac{\dot{m}_c}{P_{ef}}$$

Para el flujo de combustible se tiene el siguiente calculo de conversión de unidades:

$$\dot{m}_c = 25.47 \frac{m^3}{min} * \frac{60 min}{1 hora} * \frac{MMBTU}{28m^3} = 54.58 \frac{MMBTU}{h}$$

El flujo total de combustible de las 4 unidades conformantes de la Central Termoeléctrica a Gas Independencia de 25 MW ( 6.25 \* 4 ) = 4\* 54.57= 218.32 MMBTU/h

El valor del Heat Rate obtenido es de:

$$\text{Heat Rate} = \frac{218.32 \text{ MMBTU/h}}{25 \text{ MW}} = 8.734 \frac{\text{MMBTU}}{\text{MWh}}$$

La variación con el valor promedio, según el cuadro N° 4 es:

$$\text{Variación del Heat Rate} = \frac{8.776 - 8.734}{8.776} * 100\% = 0.47 \% \text{ de mejora}$$

#### 4.1.2 PARAMETROS ECONOMICOS:

- a. **COSTO VARIABLE COMBUSTIBLE:** Para la determinación del Costo Variable Combustible se hace uso de la ecuación N° 10 y con el Precio Unitario declarado para la Empresa de 2.58 U\$/MMBTU según el Cuadro N° 7.

$$\text{C. V. C} = 8.734 * 2.58 = 22.53 \frac{\text{U\$}}{\text{MWh}}$$

La variación con el valor promedio, según el cuadro N° 5 es:

$$\text{Variación del C. V. C} = \frac{22.66 - 22.53}{22.66} * 100\% = 0.57 \% \text{ de mejora}$$

#### 4.2 DETERMINACION DEL COSTO FIJO DE MANTENIMIENTO ANUAL:

Para la determinación de los Costos Fijos Anuales de mantenimiento se tiene en cuenta el reporte de Costos Fijos promedios anuales de mantenimiento de la Empresa, los cuales se detallan en el Cuadro N° 13.

Cuadro N° 13 Estructura de Costos Fijos de Mantenimiento Anual por Unidad Total

ITEM	CONCEPTO	DESCRIPCION	COSTO ANUAL(U\$/Año)
1	Insumos Propios	Gastos en grasas , aceites, lijas, pegamentos, siliconas, trapo industrial, penetrantes,limpia contactos masillas composites, antiadherentes,etc	6000
2	Fallas	Costo anual promedio de fallas en las unidades .Por ejemplo: Inyectores , mangueras , valvulas de admision , tarjetas electronicas, valvulas solenoides, presostatos,etc.	4800
3	Sistema de Lubricacion	Costo anual de mantenimiento preventivo de bombas de transferencia , tanque de aceite externo, bomba principalcuando no es accionada por el propio motor.	3600
4	Sistema de Combustible	Costo anual de mantenimiento preventivo de sistema de alimentacion de gas natural , estacion de regulacion secundaria por cada unidad(4),	3200
5	Sistema de enfriamiento de inyectores	Costo Anual de mantenimiento de Valvulas termostaticas , mezclador, presostatos .	2400
6	Sistema de aire comprimido	Costo anual de mantenimiento de compresora reciprocante de alta y baja presion , presostatos, tanques de aire comprimido , valvulas neumaticas.	3200
7	Sistema de refrigeracion	Costo Anual de mantenimiento de bombas de circulacion, tanque de expansion , valvulas termosticas , radiador, fajas de ventilador.	4800
8	Sistema de enfriamiento de gases de escape	Costo anual de mantenimiento de ductos y colectores de escape , catalizador y silenciador, juntas de expansion	6000
9	Sistema de Admision de aire	Costo anual de mantenimirmto de filtros , ductos , mangueras	5600
TOTAL COSTO DE MANTENIMIENTO ANUAL FIJO -ESTRUCTURA PROPIA DE CADA UNIDAD TOTAL			39600

Fuente : Elaboración Propia

Cuadro N° 14 Estructura de Costos Fijos de Mantenimiento Anual Común- Central Termoeléctrica

ITEM	CONCEPTO	DESCRIPCION	COSTO ANUAL(U\$/Año)
1	Insumos Propios	Gastos en grasas , aceites, lijas, pegamentos, siliconas, trapo industrial, penetrantes,limpia contactos masillas composites, antiadherentes,etc	1600
2	Fallas	Se asigna un costo estimado en base a la experiencia de mantenimiento de equipo Por ejemplo : fallas en valvula de combustible, tarjetas electronicas, valvulas solenoides, RTD, sensores de nivel,etc.	2000
3	Sistema comun de Lubricacion	Costo anual de mantenimiento preventivo de tanques de aceite de recepcion , bombas de transferencia, valvulas tuberias, filtros.	2000
4	Sistema comun de Combustible	Costo anual preventivo de tanque diesel de reserva , valvulas , bombas de transferencia. Sistema de regulacion y medicion principal de gas natural.	2000
5	Sistema comun de enfriamiento	Costo anual de mantenimiento preventivo de toma de agua ,bombas, tuberias , valvulas.	2000
6	Sistema comun de planta de tratamiento de agua	Costo anual de mantenimiento preventivo de tanques de agua cruda, agua tratada , planta de osmosis, deionizador, flitros de lecho , decantador.	3000
7	Sistema comun de planta de efluentes	Costo anual de mantenimiento preventivo de pozos de decantacion , neutralizador , bombas y filtros.	2500
8	Sistema comun contra incendio	Costo anual de mantenimiento preventivo de tanqus de agua , pozos , electrobombas ,motobombas , bombas jockey, tanques de espuma , tuberias, valvulas.	1500
9	Sistema electrico e instrumentacion	Costo anual de mantenimiento preventivo de instrumentacion general de planta , tableros de control de mando de motores , protecciones del alternador, transformador principal, auxiliares de control, interruptores, seccionadores , unidades de control de equipos.	2500
10	Personal de mantenimiento	Costo anual de personal por terceros	15000
11	Pruebas de mantenimiento predictivo	Costo anual por ensayos de fatiga termica, vibracion , analisis de aguas , analisis de aceite , analisis de holguras(no incluye termografia)	30000
12	Personal de mantenimiento propio	1 Jefe	40000
TOTAL COSTO DE MANTENIMIENTO ANUAL FIJO -ESTRUCTURA COMUN CENTRAL TERMoeLECTRICA			34100

Fuente : Elaboración Propia

Se tiene un Costo fijo anual de mantenimiento de U\$ 73,700.00

#### 4.3 DETERMINACION DEL COSTO POR CATEGORIAS DE MANTENIMIENTO VARIABLE:

Seguidamente se tienen las estructuras de costos para cada categoría de mantenimiento, los cuales han sido definidos por el procedimiento N° 33-COES y así mismo los contenidos de cada categoría se realizan en función a la Norma ISO 3046-1 para Mantenimiento de Motores Reciprocantes o de Combustión Interna utilizados para la generación de energía eléctrica:

Resumen de Costos de Mantenimiento por categorías:

Cuadro N° 15 Resumen Costos por Categorías de Mantenimiento

N°	Categoría	Horas Equivalentes de Operación	Costo (U\$)
1	Mantenimiento menor M4000	4,000	33,853.00
2	Mantenimiento Menor M8000	8,000	152,063.00
3	Mantenimiento mayor M16000	16,000	485,490.00
4	Mantenimiento mayor M48000	48,000	570,052.00

Fuente : Elaboración propia

Se presenta los desagregados de Costos de Mantenimiento por categorías:

Cuadro N° 16 Costo de Mantenimiento de 4,000 Horas Central Termoeléctrica Independencia-Inspección de Válvulas de Inyección

ACTIVIDAD:	INSPECCION DE LAS VALVULAS DE INYECCION
HORAS DE OPERACIÓN DE MANTENIMIENTO: 4000 HORAS	

ITEM	CODIGO	DESCRIPCION	CANT.	REPUESTOS NUEVOS		REPUESTOS REPARADOS		REFERENCIA
				UNITARIO(U\$)	TOTAL(U\$)	UNITARIO(U\$)	TOTAL(U\$)	
1	167020	Toberas de inyeccion	18	548.00	9,864.00			
2	167010	Resorte inyector	18	124.00	2,232.00			
3	167011	Empujador	18	105.00	1,890.00			
TOTAL(U\$)					13,986.00			

Fuente : Elaboración propia

Cuadro N° 17 Costo de Mantenimiento de 4,000 Horas Central Termoeléctrica Independencia-Sistema de Aceite

ACTIVIDAD:	SISTEMA DE ACEITE-LIMPIEZA DE CARTER DE ACEITE
HORAS DE OPERACIÓN DE MANTENIMIENTO: 4000 HORAS	

ITEM	CODIGO	DESCRIPCION	CANT.	REPUESTOS NUEVOS		REPUESTOS REPARADOS		REFERENCIA
				UNITARIO(U\$)	TOTAL(U\$)	UNITARIO(U\$)	TOTAL(U\$)	
1		Trapo industrial(unid)	50	0.30	15.00			
2		Petroleo(litro)	20	4.50	90.00			
3		Franela tocuyo(m)	5	15.00	75.00			
TOTAL(U\$)					2,524.00			

Fuente : Elaboración propia

Cuadro N° 19 Costo de Mantenimiento de 4,000 Horas Central Termoeléctrica Independencia-Turbocompresores

ACTIVIDAD :	MANTENIMIENTO DE 4000 HORAS DE TURBOCOMPRESORES
HORAS DE OPERACIÓN DE MANTENIMIENTO: 4000 HORAS	

ITEM	CODIGO	DESCRIPCION	CANT.	REPUESTOS NUEVOS		REPUESTOS REPARADOS		REFERENCIA
				UNITARIO(U\$)	TOTAL(U\$)	UNITARIO(U\$)	TOTAL(U\$)	
1		Servicio de Mantenimiento 4000 horas	2	2,000.00	4,000.00			
2		Aceite Sintetico Mobil RARUS(Galon)	10	50.00	500.00			
3	32185	Niple	2	300.00	600.00			
4	34185	Niple	2	300.00	600.00			
5	32181	Socket screw	32	1.50	48.00			
6	32182	Locking Washer	32	1.50	48.00			
7	32191	Piston ring	4	75.00	300.00			
8	32192	Safety ring	4	60.00	240.00			
9	32154	Gasket	2	70.00	140.00			
10	34154	Gasket	2	70.00	140.00			
11	97065	Sigh Glass Spare	4	295.00	1,180.00			
12	97030	Set of apare srewa	2	580.00	1,160.00			
13	51019	Hex-Headed screw	12	40.00	480.00			
14	51020	Locking plate	12	6.00	72.00			
15	51015	Hex-Headed screw	21	40.00	840.00			
16	51016	Verbus disc	21	35.00	735.00			
17	51014	Sealing bush	2	425.00	850.00			
18	76002	Sealing bush	2	540.00	1,080.00			
19	51048	Hex-Headed screw	9	40.00	360.00			
20	51049	Locking plate	9	6.00	54.00			
TOTAL(U\$)					13,427.00			

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 20 Costo de Mantenimiento de 4,000 Horas Central Termoeléctrica Independencia-Separadoras de Aceite

ACTIVIDAD:	SISTEMA DE ACEITE-MANTENIMIENTO MENOR DE SEPARADORAS DE ACEITE
HORAS DE OPERACIÓN DE MANTENIMIENTO: 4000 HORAS	

ITEM	CODIGO	DESCRIPCION	CANT.	REPUESTOS NUEVOS		REPUESTOS REPARADOS		REFERENCIA
				UNITARIO(U\$)	TOTAL(U\$)	UNITARIO(U\$)	TOTAL(U\$)	
1	55461001	Kit de mantenimiento menor Separadoras	1	510.00	510.00			
2	52885684	Zapatas AFPX 213 de acoplamiento de embrague	2	130.00	260.00			
3		Acido nitrico	5	12.00	60.00			
4		Trapo industrial	10	0.30	3.00			
5		Implementos de seguridad y ferreteria	1	75.00	75.00			
6		Petroleo	10	4.50	45.00			
TOTAL(U\$)					953.00			

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 21 Costo de Mantenimiento de 4,000 Horas Central Termoeléctrica Independencia-Sistema de Refrigeración de Alta y Baja Temperatura

ACTIVIDAD:	SISTEMA DE REFRIGERACION DE ALTA Y BAJA TEMPERATURA.
HORAS DE OPERACIÓN DE MANTENIMIENTO: 4000 HORAS	

ITEM	CODIGO	DESCRIPCION	CANT.	REPUESTOS NUEVOS		REPUESTOS REPARADOS		REFERENCIA
				UNITARIO(U\$)	TOTAL(U\$)	UNITARIO(U\$)	TOTAL(U\$)	
1		Nalco 2000	1.5	1250.00	1875.00			
2		Agua tratada(m3)	9	15.00	135.00			
TOTAL(U\$)					2963.00			

Fuente: Elaboración propia



Cuadro N° 22 Costo de Mantenimiento de 8,000 Horas Central Termoeléctrica Independencia-Conjunto de Potencia Culatas

ACTIVIDAD :	CONJUNTO DE POTENCIA-CULATAS
HORAS DE OPERACIÓN DE MANTENIMIENTO:	8000 HORAS

ITEM	CODIGO	DESCRIPCION	CANT.	REPUESTOS NUEVOS		REPUESTOS REPARADOS		REFERENCIA
				UNITARIO(U\$)	TOTAL(U\$)	UNITARIO(U\$)	TOTAL(U\$)	
1	111004	Cojinete cabeza biela superior	18	650.00	11,700.00			
2	111005	Cojinete cabeza biela inferior	18	650.00	11,700.00			
3	113013	Juego aro de piston	18	815.00	14,670.00			
4	110111	Oring camisas	18	80.00	1,440.00			
5	120065	Kit de empaques de culata	18	410.00	7,380.00			
6	123035	Gasket set for starting valve	18	55.00	990.00			
7	100156	Antipolishing ring	18	560.00	10,080.00			
TOTAL(U\$)					57,960.00			

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 23 Costo de Mantenimiento de 8,000 Horas Central Termoeléctrica Independencia-Turbocompresores

ACTIVIDAD :	MANTENIMIENTO DE 8000 HORAS DE TURBOCOMPRESORES
HORAS DE OPERACIÓN DE MANTENIMIENTO:	8000 HORAS

ITEM	CODIGO	DESCRIPCION	CANT.	REPUESTOS NUEVOS		REPUESTOS REPARADOS		REFERENCIA
				UNITARIO(U\$)	TOTAL(U\$)	UNITARIO(U\$)	TOTAL(U\$)	
1		Balaceo dinamico	2	2,100.00	4,200.00			
2	32100	Bearing complete CE	2	5,800.00	11,600.00			
3	34100	Bearing complete TE	2	3,900.00	7,800.00			
4	37040	Kit de bomba centrifuga	4	750.00	3,000.00			
5	36010	Nozzle ring	2	10,520.00	21,040.00			
6	37000	Cover ring	2	9,800.00	19,600.00			
7	37180	Oil singer	2	2,000.00	4,000.00			
8	37180	Oil singer	2	2,000.00	4,000.00			
TOTAL(U\$)					75,240.00			

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 24 Costo de Mantenimiento de 8,000 Horas Central Termoeléctrica Independencia-Separadora de Aceite

ACTIVIDAD:	SEPARADORA DE ACEITE
HORAS DE OPERACIÓN DE MANTENIMIENTO: 8000 HORAS	

ITEM	CODIGO	DESCRIPCION	CANT.	REPUESTOS NUEVOS		REPUESTOS REPARADOS		REFERENCIA
				UNITARIO(U\$)	TOTAL(U\$)	UNITARIO(U\$)	TOTAL(U\$)	
1	54815301	Kit de Mantenimiento mayor de separadoras	1	2400.00	2400.00			
TOTAL(U\$)					2,400.00			

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 25 Costo de Mantenimiento de 8,000 Horas Central Termoeléctrica Independencia-Bombas de Agua y Aceite

ACTIVIDAD:	BOMBA DE AGUA HT , LT Y BOMBA DE ACEITE DE LUBRICACION
HORAS DE OPERACIÓN DE MANTENIMIENTO: 8000 HORAS	

ITEM	CODIGO	DESCRIPCION	CANT.	REPUESTOS NUEVOS		REPUESTOS REPARADOS		REFERENCIA
				UNITARIO(U\$)	TOTAL(U\$)	UNITARIO(U\$)	TOTAL(U\$)	
1	191073	Kit de parte de Bomba HT	1	720.00	720.00			
2	191073	Kit de partes de Bombas LT	1	720.00	720.00			
3	181202	Kit de Bombas de lubricacion	1	85.00	85.00			
4	182105	Kit de Bomba de pre-lubricacion	1	850.00	850.00			
5		Trapo, petroleo y ferreteria	1	20.00	20.00			
TOTAL(U\$)					2,395.00			

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 26 Costo de Mantenimiento de 8,000 Horas Central Termoeléctrica Independencia-Sistema de Admisión

ACTIVIDAD:	FILTROS DE AIRE DE COMBUSTION,INTERCAMBIADOR DE CALOR
HORAS DE OPERACIÓN DE MANTENIMIENTO: 8000 HORAS	

ITEM	CODIGO	DESCRIPCION	CANT.	REPUESTOS NUEVOS		REPUESTOS REPARADOS		REFERENCIA
				UNITARIO(U\$)	TOTAL(U\$)	UNITARIO(U\$)	TOTAL(U\$)	
1	3010140675	Gasket	80	110.00	8,800.00			
2		Cambio filtros de aire	2	55.00	110.00			
3		Rodamientos(6205.6206)	2	25.00	50.00			
4		Trapo industrial(u)	20	0.30	6.00			
5		Detergente(kg)	2	7.00	14.00			
6		Petroleo(Gal)	2	13.50	27.00			
TOTAL(U\$)					9007.00			

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 27 Costo de Mantenimiento de 8,000 Horas Central Termoeléctrica Independencia-Sistema de Refrigeración

ACTIVIDAD:	SISTEMA DE REFRIGERACION
HORAS DE OPERACIÓN DE MANTENIMIENTO: 8000 HORAS	

ITEM	CODIGO	DESCRIPCION	CANT.	REPUESTOS NUEVOS		REPUESTOS REPARADOS		REFERENCIA
				UNITARIO(U\$)	TOTAL(U\$)	UNITARIO(U\$)	TOTAL(U\$)	
1		Rodamientos 6210 2ZR/C3	12	25.00	300.00			
2		Rodamientos 6211 2ZR/C3	12	32.00	384.00			
3		Reten FSQ VA 55 de grasa	24	8.00	192.00			
4		Reten FSQ VA 60 de grasa	24	8.50	204.00			
TOTAL(U\$)					1080.00			

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 28 Costo de Mantenimiento de 8,000 Horas Central Termoeléctrica Independencia-Alineamiento

ACTIVIDAD:	ALINEAMIENTO MOTOR-ALTERNADOR
HORAS DE OPERACIÓN DE MANTENIMIENTO: 8000 HORAS	

ITEM	CODIGO	DESCRIPCION	CANT.	REPUESTOS NUEVOS		REPUESTOS REPARADOS		REFERENCIA
				UNITARIO(U\$)	TOTAL(U\$)	UNITARIO(U\$)	TOTAL(U\$)	
1		Servicio de Alineamiento Motor-Alternador	1	3,500.00	3,500.00			
TOTAL(U\$)					3500.00			

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 29 Costo de Mantenimiento de 8,000 Horas Central Termoeléctrica Independencia-Sistema de Enfriamiento Alternador

ACTIVIDAD:	SISTEMA DE ENFRIAMIENTO ALTERNADOR Y SALA DE MAQUINAS
HORAS DE OPERACIÓN DE MANTENIMIENTO: 8000 HORAS	

ITEM	CODIGO	DESCRIPCION	CANT.	REPUESTOS NUEVOS		REPUESTOS REPARADOS		REFERENCIA
				UNITARIO(U\$)	TOTAL(U\$)	UNITARIO(U\$)	TOTAL(U\$)	
1		Faja B-128	4	38.00	152.00			
2		Faja AX-48	4	32.00	128.00			
3		Rodamientos 6312	1	65.00	65.00			
4		Rodamientos 6307	2	25.00	50.00			
5		Ferreteria	1	80.00	80.00			
6		Trapo Industrial	20	0.30	6.00			
TOTAL(U\$)					481.00			

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 30 Costo de Mantenimiento de 16,000 Horas Central Termoeléctrica Independencia-Culatas

ACTIVIDAD :	CONJUNTO DE POTENCIA-CULATAS
HORAS DE OPERACIÓN DE MANTENIMIENTO: 16000 HORAS	

ITEM	CODIGO	DESCRIPCION	CANT.	REPUESTOS NUEVOS		REPUESTOS REPARADOS		REFERENCIA
				UNITARIO(U\$)	TOTAL(U\$)	UNITARIO(U\$)	TOTAL(U\$)	
1	121016	Valvula de escape Nimonic	36	1,020.00	36,720.00			
2	121010	Valvula de admision	36	560.00	20,160.00			
3	120009	Asientos valvulas de escape	36	980.00	35,280.00			
4	120012	Asientos valvulas de admision	36	265.00	9,540.00			
5	120022	Guia de la valvula	36	296.00	10,656.00			
6	120003	Valvula de camisa	18	320.00	5,760.00			
7	167040	Portatoberas	18	980.00	17,640.00			
TOTAL(U\$)					135,756.00			

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 31 Costo de Mantenimiento de 16,000 Horas Central Termoeléctrica Independencia-Regulador

ACTIVIDAD :	ACCIONAMIENTO DEL REGULADOR
HORAS DE OPERACIÓN DE MANTENIMIENTO: 16000 HORAS	

ITEM	CODIGO	DESCRIPCION	CANT.	REPUESTOS NUEVOS		REPUESTOS REPARADOS		REFERENCIA
				UNITARIO(U\$)	TOTAL(U\$)	UNITARIO(U\$)	TOTAL(U\$)	
1	223023	Pasador de seguridad	4	5.00	20.00			
2	223008	Alambre de seguridad	1	15.00	15.00			
3	223034	Manguito de conexión	1	90.00	90.00			
4	223003	Casquillo de cojinete	2	95.00	190.00			
TOTAL(U\$)					315.00			

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 32 Costo de Mantenimiento de 16,000 Horas Central Termoeléctrica Independencia-Tren de engrase y eje de levas

ACTIVIDAD :	TREN DE ENGRASE Y EJES DE LEVAS
HORAS DE OPERACIÓN DE MANTENIMIENTO: 16000 HORAS	

ITEM	CODIGO	DESCRIPCION	CANT.	REPUESTOS NUEVOS		REPUESTOS REPARADOS		REFERENCIA
				UNITARIO(U\$)	TOTAL(U\$)	UNITARIO(U\$)	TOTAL(U\$)	
1	131007	Cojinete	4	230.00	920.00			
2	131031	O-ring	2	10.00	20.00			
3	131030	O-ring	2	10.00	20.00			
4	131023	Cojinete de empuje de arbol de levas	4	125.00	500.00			
	131033	Screw(Tornillo)de arbol de levas	16	4.00	64.00			
	148072	O-ring	4	8.00	32.00			
	148071	Casquillo de cojinete	4	190.00	760.00			
	148014	Tornillo(Sujetadores)	30	4.00	120.00			
	148013	Tornillo(Sujetadores)	550	3.50	1,925.00			
	148073	O-ring	2	4.00	8.00			
5	352127	O-ring	4	4.00	16.00			
6	148011	Cojinete	20	390.00	7,800.00			
7	148009	Pasador de guia	38	12.00	456.00			
8	148010	Anillo elastico(spring rin)	38	10.00	380.00			
TOTAL(U\$)					13,021.00			

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 33 Costo de Mantenimiento de 16,000 Horas Central Termoeléctrica Independencia-Turbocompresores

ACTIVIDAD :	TURBOCOMPRESORES
HORAS DE OPERACIÓN DE MANTENIMIENTO: 16000 HORAS	

ITEM	CODIGO	DESCRIPCION	CANT.	REPUESTOS NUEVOS		REPUESTOS REPARADOS		REFERENCIA
				UNITARIO(U\$)	TOTAL(U\$)	UNITARIO(U\$)	TOTAL(U\$)	
1	500000	Caja de entrada de gases de combustion	2	12360.00	24720.00			
TOTAL(U\$)					24,720.00			

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 34 Costo de Mantenimiento de 16,000 Horas Central Termoeléctrica Independencia-Conjunto de Potencia

ACTIVIDAD :	CONJUNTO DE POTENCIA
HORAS DE OPERACIÓN DE MANTENIMIENTO: 16000 HORAS	

ITEM	CODIGO	DESCRIPCION	CANT.	REPUESTOS NUEVOS		REPUESTOS REPARADOS		REFERENCIA
				UNITARIO(U\$)	TOTAL(U\$)	UNITARIO(U\$)	TOTAL(U\$)	
1	113025	Piston completo	18	15,420.00	277,560.00			
2	111002	Pin de casquillo de cojinete	18	560.00	10,080.00			
3	111008	Tornillo de conexión( Connecting rod screw M45*3)	18	120.00	2,160.00			
4	111006	Tuerca redonda M45*3	18	52.00	936.00			
TOTAL(U\$)					290736.00			

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 35 Costo de Mantenimiento de 16,000 Horas Central Termoeléctrica Independencia-Separadora de Aceite

ACTIVIDAD :	SEPARADORA DE ACEITE
HORAS DE OPERACIÓN DE MANTENIMIENTO: 16000 HORAS	

ITEM	CODIGO	DESCRIPCION	CANT.	REPUESTOS NUEVOS		REPUESTOS REPARADOS		REFERENCIA
				UNITARIO(U\$)	TOTAL(U\$)	UNITARIO(U\$)	TOTAL(U\$)	
1		Valvula de Bloqueo de control de agua V50	1	3,520.00	3,520.00			
2		Set de pepuesto para transductor	1	1,800.00	1,800.00			
TOTAL(U\$)					5,320.00			

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 36 Costo de Mantenimiento de 16,000 Horas Central Termoeléctrica Independencia-Sistema de Distribución y Arranque

ACTIVIDAD :	VALVULA PRINCIPAL DE ARRANQUE Y DISTRIBUIDOR DE AIRE PARA EL ARRANQUE
HORAS DE OPERACIÓN DE MANTENIMIENTO: 16000 HORAS	

ITEM	CODIGO	DESCRIPCION	CANT.	REPUESTOS NUEVOS		REPUESTOS REPARADOS		REFERENCIA
				UNITARIO(U\$)	TOTAL(U\$)	UNITARIO(U\$)	TOTAL(U\$)	
1	211006	Bush para el arranque del distribuidor de aire	9	45	405.00			
2	211008	Resorte de compresion 1.6*14.4*36	9	4	36.00			
3	21107	slide para arranque del sistema de distr. De aire	9	48	432.00			
4	211006	O-ring 74.5*3.0	1	4	4.00			
5	217046	Partes de la valvula principal de admision de aire	1	580.00	580.00			
TOTAL(U\$)					1457.00			

Fuente: Elaboración propia



Cuadro N° 37 Costo de Mantenimiento de 16,000 Horas Central Termoeléctrica Independencia-Cigüeñal

ACTIVIDAD :	CIGÜEÑAL
HORAS DE OPERACIÓN DE MANTENIMIENTO: 16000 HORAS	

ITEM	CODIGO	DESCRIPCION	CANT.	REPUESTOS NUEVOS		REPUESTOS REPARADOS		REFERENCIA
				UNITARIO(U\$)	TOTAL(U\$)	UNITARIO(U\$)	TOTAL(U\$)	
1	100096	Cojinete principal cubierta superior	18	330.00	5,940.00			
2	100097	Cojinete principal cubierta inferior	18	330.00	5,940.00			
3	100113	Cojinete de la volante	2	310.00	620.00			
4	100112	Cojinete de empuje	4	390.00	1,560.00			
5	100089	O-ring	22	4.50	99.00			
6		Trapo Industrial	20	0.30	6.00			
TOTAL(U\$)					14165.00			

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 38 Costo de Mantenimiento de 48,000 Horas Central Termoeléctrica Independencia-Cigüeñal

ACTIVIDAD :	CIGÜEÑAL
HORAS DE OPERACIÓN DE MANTENIMIENTO: 48000 HORAS	

ITEM	CODIGO	DESCRIPCION	CANT.	REPUESTOS NUEVOS		REPUESTOS REPARADOS		REFERENCIA
				UNITARIO(U\$)	TOTAL(U\$)	UNITARIO(U\$)	TOTAL(U\$)	
1	100050	Set de sellado(sealing set)	10	45.00	450.00			
2	110024	Amortiguador de vibraciones	1	15,420.00	15,420.00			
TOTAL(U\$)					15,870.00			

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 39 Costo de Mantenimiento de 48,000 Horas Central Termoeléctrica Independencia-Tren de engrase y árbol de levas

ACTIVIDAD :	TREN DE ENGRASE Y EJES DE LEVAS
HORAS DE OPERACIÓN DE MANTENIMIENTO: 48000 HORAS	

ITEM	CODIGO	DESCRIPCION	CANT.	REPUESTOS NUEVOS		REPUESTOS REPARADOS		REFERENCIA
				UNITARIO(U\$)	TOTAL(U\$)	UNITARIO(U\$)	TOTAL(U\$)	
1	148001	Pieza A arbol de levas	9	7,800.00	70,200.00			
2	148002	pieza B arbol de levas	9	7,800.00	70,200.00			
TOTAL(U\$)				140,400.00				

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 40 Costo de Mantenimiento de 48,000 Horas Central Termoeléctrica Independencia-Camisas de Piston

ACTIVIDAD :	CAMISAS DE PISTON
HORAS DE OPERACIÓN DE MANTENIMIENTO: 48000 HORAS	

ITEM	CODIGO	DESCRIPCION	CANT.	REPUESTOS NUEVOS		REPUESTOS REPARADOS		REFERENCIA
				UNITARIO(U\$)	TOTAL(U\$)	UNITARIO(U\$)	TOTAL(U\$)	
1	100110	Camisetas(cylinder liner)	18	9,840.00	177,120.00			
TOTAL(U\$)				177,120.00				

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 41 Costo de Mantenimiento de 48,000 Horas Central Termoeléctrica Independencia-Colector de gases de escape

ACTIVIDAD :	COLECTOR DE GASES DE ESCAPE
HORAS DE OPERACIÓN DE MANTENIMIENTO: 48000 HORAS	

ITEM	CODIGO	DESCRIPCION	CANT.	REPUESTOS NUEVOS		REPUESTOS REPARADOS		REFERENCIA
				UNITARIO(U\$)	TOTAL(U\$)	UNITARIO(U\$)	TOTAL(U\$)	
1	200137	Fuelle	18	910.00	16380.00			
2	200163	Fuelle	2	820.00	1640.00			
3	200014	Dos piezas de anillos	46	420.00	19320.00			
4	200225	Dos piezas de anillos	18	510.00	9180.00			
5	200001	Brida distanciadora	6	650.00	3900.00			
6	200011	Junta	12	45.00	540.00			
7	200138	Tornillo	48	6.00	288.00			
8	200139	Tuerca	48	4.00	192.00			
9	200133	Tubo de escape	2	820.00	1640.00			
10	200162	Tubo de escape	2	820.00	1640.00			
11	200161	Tubo de escape	1	820.00	820.00			
12	200132	Tubo de escape	1	1420.00	1420.00			
13	205012	Tornillo	20	4.00	80.00			
14	205016	Tornillo	72	4.00	288.00			
15	205027	Tornillo	62	4.00	248.00			
16	511101	Termometros	18	180.00	3240.00			
17	511102	Anillo de cierre	18	7.00	126.00			
TOTAL(U\$)					60,942.00			

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 42 Costo de Mantenimiento de 48,000 Horas Central Termoeléctrica Independencia-Supervisión de Trabajos Especiales

ACTIVIDAD :	SUPERVISION DE TRABAJOS ESPECIALES
HORAS DE OPERACIÓN DE MANTENIMIENTO: 48000 HORAS	

ITEM	CODIGO	DESCRIPCION	CANT.	REPUESTOS NUEVOS		REPUESTOS REPARADOS		REFERENCIA
				UNITARIO(U\$)	TOTAL(U\$)	UNITARIO(U\$)	TOTAL(U\$)	
1		Servicio del fabricante en supervisión y ejecución de trabajos especiales de mantenimiento mayor	1	35,000.00	35,000.00			
TOTAL(U\$)					35,000.00			

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 43 Costo de Mantenimiento de 48,000 Horas Central Termoeléctrica Independencia-Alternador

ACTIVIDAD :	ALTERNADOR
HORAS DE OPERACIÓN DE MANTENIMIENTO: 48000 HORAS	

ITEM	CODIGO	DESCRIPCION	CANT.	REPUESTOS NUEVOS		REPUESTOS REPARADOS		REFERENCIA
				UNITARIO(U\$)	TOTAL(U\$)	UNITARIO(U\$)	TOTAL(U\$)	
1		Cojinete inferior	1	2,860.00	2,860.00			
2		Cojinete superior	1	2,860.00	2,860.00			
TOTAL(U\$)					5,720.00			

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 44 Costo de Mantenimiento de 48,000 Horas Central Termoeléctrica Independencia-Turbocompresor

ACTIVIDAD :	TURBOCOMPRESOR
HORAS DE OPERACIÓN DE MANTENIMIENTO: 48000 HORAS	

ITEM	CODIGO	DESCRIPCION	CANT.	REPUESTOS NUEVOS		REPUESTOS REPARADOS		REFERENCIA
				UNITARIO(U\$)	TOTAL(U\$)	UNITARIO(U\$)	TOTAL(U\$)	
1		Rotor turbocompresor	1	95,000.00	95,000.00			
TOTAL(U\$)					95,000.00			

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 45 Costo de Mantenimiento de 48,000 Horas Central Termoeléctrica Independencia-Sistema de Alimentación de Gas Natural

ACTIVIDAD :	SISTEMA DE ALIMENTACION DE GAS NATURAL
HORAS DE OPERACIÓN DE MANTENIMIENTO: 48000 HORAS	

ITEM	CODIGO	DESCRIPCION	CANT.	REPUESTOS NUEVOS		REPUESTOS REPARADOS		REFERENCIA
				UNITARIO(U\$)	TOTAL(U\$)	UNITARIO(U\$)	TOTAL(U\$)	
1		Cambio de componentes en Estacion de Reg. Y Med.	1	45,000.00	45,000.00			
TOTAL(U\$)					45,000.00			

Fuente: Elaboración propia

#### 4.4 DETERMINACION DE LA ANUALIDAD DEL COSTO VARIABLE DE MANTENIMIENTO POR ESCENARIOS:

Se realiza el cálculo para el Escenario de 3,000 horas de operación, con la finalidad de poder detallar de manera didáctica la metodología de cálculo:

##### 4.4.1 CALCULOS PARA EL AÑO 1 ESCENARIO 3000 HORAS DE OPERACIÓN:

###### a. NUMERO DE ARRANQUES PROMEDIO:

Se determina seguidamente el número de arranques promedio en cada año desde el 2010 al 2013, y se calcula el número de arranques para el estudio según lo establecido en el ítem 2.4.5.

Año 2010

$$N_{arr2010} = \frac{101 + 75 + 92 + 80}{4} = 87$$

Año 2011

$$N_{arr2011} = \frac{312 + 258 + 304 + 322}{4} = 299$$

Año 2012

$$N_{arr2012} = \frac{326 + 303 + 301 + 302}{4} = 308$$

Año 2013

$$N_{arr2013} = \frac{234 + 218 + 207 + 213}{4} = 218$$

Finalmente el número de arranques promedio es de:

$$N_{arr} = \frac{87 + 299 + 308 + 218}{4} = 228$$

**b. DETERMINACION DEL NUMERO DE HORAS EQUIVALENTES DE OPERACIÓN:**

- Según lo detallado en la metodología de Cálculo se debe determinar la Anualidad del costo variable de Mantenimiento para un horizonte de estudios de 20 años , para lo cual se toma en cuenta los siguientes periodos de tiempo(Según lo establecido por la ley de Concesiones Electricas para los estudios de estimación y proyección eléctrica): 3 años hacia atrás contando el año en análisis (2011 y 2012 y el año 2013 en estudio) 16 años hacia adelante luego del año en análisis (2014 hasta el año 2030)
- Para la determinación de las Horas Equivalentes de operación en el Año 1 de Operación se determinan según la ecuación N° 18 y los cuadros N° 10 y 12.

$$HEO = HO + (20 * N_{arr})$$

$$HEO_1 = 3,000 + (20 * 228) = 7,560$$

**c. DETERMINACION DE LA CATEGORIA DE MANTENIMIENTO INVOLUCRADA EN LAS HORAS EQUIVALENTES DE OPERACIÓN:**

Se tiene el siguiente cuadro:

Horas Equivalentes de Operación Inicial Año 1 = 0

Horas Equivalentes de Operación final Año 1 = 7,560

Teniendo en cuenta los valores de las Categorías de Mantenimiento del Cuadro N° 15 se identifica cuál de ellas está dentro del rango de horas equivalentes de operación del Año 1.

HEO INICIAL		HEO FINAL
0		7,560

M4000
-------

The diagram consists of a table with two rows and three columns. The first row contains 'HEO INICIAL', an empty cell, and 'HEO FINAL'. The second row contains '0', an empty cell, and '7,560'. Below this table is a separate box containing 'M4000'. An arrow points from the 'M4000' box to the empty cell in the second row of the table, indicating that this category is assigned to the range between 0 and 7,560 hours.

Figura N°36 Asignación de Categoría de Mantenimiento Año 1 y 3000 HO

Fuente: Elaboración propia

En este caso la Categoría de Mantenimiento M4000 es la única que cae dentro del rango detallado, por lo cual en el año 1 ,se debe realizar para un Escenario de 3,000 horas de operación una categoría de Mantenimiento de M4000 con un costo de 33,583.00 U\$.

**d. ESTIMACION DEL VALOR PRESENTE DEL COSTO DE MANTENIMIENTO M4000 DEL AÑO 1 DEL ESCENARIO DE 3000 HORAS DE OPERACIÓN.**

- Para la determinación del Valor presente del costo de la Categoría de Mantenimiento efectuado al final del Año 1 , debe tener en cuenta la Tasa de Interés del 12 % definida por el Procedimiento N° 34-COES.

$$VP_n = \frac{VF}{(1 + i)^n} \dots \dots \dots (22)$$

Donde :

VP = Es el Valor presente del Costo de la Categoría de Mantenimiento asociada al periodo de tiempo en análisis.

VF = Es el Valor futuro , en este caso el Costo de la categoría de Mantenimiento asociada al periodo de tiempo en análisis. Para nuestro caso 33,583.00 U\$.

n = Es el periodo de tiempo analizado, en nuestro caso es el año 1.

i = Tasa de interés del 12 %

$$VP_1 = \frac{33,583.00}{(1 + 0.12)^1} = 30,225.89 \text{ U\$}$$

**4.4.2 CALCULOS PARA EL AÑO 2 ESCENARIO 3000 HORAS DE OPERACIÓN:**

**a. NUMERO DE ARRANQUES PROMEDIO:**

El número de arranques se mantiene constante para todo el análisis de estudio:

$$N_{arr} = \frac{87 + 299 + 308 + 218}{4} = 228$$



**b. DETERMINACION DEL NUMERO DE HORAS EQUIVALENTES DE OPERACIÓN:**

- Para la determinación de las Horas Equivalentes de operación en el Año 2 de Operación que involucra desde las 3,000 a 6,000 horas de operación, se determinan según la ecuación N° 18 y los cuadros N° 10 y 12.

$$HEO_n = HEO_{n-1} + HEO_1$$

$$HEO_2 = 7,560 + 7,560 = 15,120$$

**c. DETERMINACION DE LA CATEGORIA DE MANTENIMIENTO INVOLUCRADA EN LAS HORAS EQUIVALENTES DE OPERACIÓN:**

Se tiene el siguiente cuadro:

Horas Equivalentes de Operación Inicial Año 2 = 7,560

Horas Equivalentes de Operación final Año 2 = 15,120

Teniendo en cuenta los valores de las Categorías de Mantenimiento del Cuadro N° 15 se identifica cuál de ellas está dentro del rango de horas equivalentes de operación del Año 1.

HEO INICIAL		HEO FINAL
7,560		15,120

M8000
-------

Figura N° 37 Asignación de Categoría de Mantenimiento, Año 2 ,3000 HO

Fuente: Elaboración propia

En este caso la Categoría de Mantenimiento M8000 es la única que cae dentro del rango detallado, por lo cual en el año 2 ,se debe realizar para un Escenario de 3,000 horas de operación ( 6,000 -3,000) una categoría de Mantenimiento de M8000 con un costo de 152,063.00 U\$.

**d. ESTIMACION DEL VALOR PRESENTE DEL COSTO DE MANTENIMIENTO M8000 DEL AÑO 2 DEL ESCENARIO DE 3000 HORAS DE OPERACIÓN.**

- Para la determinación del Valor presente del costo de la Categoría de Mantenimiento efectuado al final del Año 2 , debe tener en cuenta la Tasa de Interés del 12 % definida por el Procedimiento N° 34-COES. Se hace uso de la ecuación n° 22.

Dónde :

VP = Es el Valor presente del Costo de la Categoría de Mantenimiento asociada al periodo de tiempo en análisis.

VF = Es el Valor futuro , en este caso el Costo de la categoría de Mantenimiento asociada al periodo de tiempo en análisis. Para nuestro caso 152,063.00 U\$.

n = Es el periodo de tiempo analizado, en nuestro caso es el año 2.

i = Tasa de interés del 12 %

$$VP_2 = \frac{152,063.00}{(1 + 0.12)^2} = 121,223.69 \text{ U\$}$$

**4.4.3 CALCULOS PARA EL AÑO 3 ESCENARIO 3000 HORAS DE OPERACIÓN:**

**a. NUMERO DE ARRANQUES PROMEDIO:**

El número de arranques se mantiene constante para todo el análisis de estudio:

$$N_{arr} = \frac{87 + 299 + 308 + 218}{4} = 228$$

**b. DETERMINACION DEL NUMERO DE HORAS EQUIVALENTES DE OPERACIÓN:**

- Para la determinación de las Horas Equivalentes de operación en el Año 3 de Operación que involucra desde las 6,000 a 9,000 horas de operación según el contador de la Central termoeléctrica , se determinan según la ecuación N° 18 y los cuadros N° 10 y 12.

$$HEO_n = HEO_{n-1} + HEO_1$$

$$HEO_3 = 15,120 + 7,560 = 22,680$$

**c. DETERMINACION DE LA CATEGORIA DE MANTENIMIENTO INVOLUCRADA EN LAS HORAS EQUIVALENTES DE OPERACIÓN:**

Se tiene el siguiente cuadro:

Horas Equivalentes de Operación Inicial Año 3 = 15,120

Horas Equivalentes de Operación final Año 3 = 22,680

Teniendo en cuenta los valores de las Categorías de Mantenimiento del Cuadro N° 15 se identifica cuál de ellas está dentro del rango de horas equivalentes de operación del Año 1.

HEO INICIAL		HEO FINAL
15,120		22,680

M16000
--------

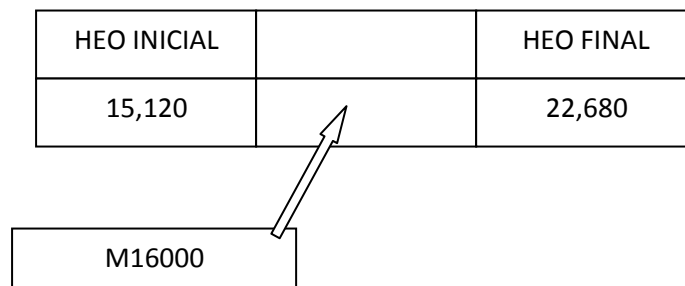


Figura N° 38 Asignación de Categoría de Mantenimiento, Año 3 ,3000 HO

Fuente: Elaboración propia

En este caso la Categoría de Mantenimiento M16000 es la única que cae dentro del rango detallado, por lo cual en el año 3 ,se debe realizar para un Escenario de 3,000 horas de operación ( 9,000 -6,000) una categoría de Mantenimiento de M16000 con un costo de 485,490.00 U\$.

**d. ESTIMACION DEL VALOR PRESENTE DEL COSTO DE MANTENIMIENTO M16000 DEL AÑO 3 DEL ESCENARIO DE 3000 HORAS DE OPERACIÓN.**

- Para la determinación del Valor presente del costo de la Categoría de Mantenimiento efectuado al final del Año 3 , debe tener en cuenta la Tasa de Interés del 12 % definida por el Procedimiento N° 34-COES. Se hace uso de la ecuación n° 22.

Dónde :

VP = Es el Valor presente del Costo de la Categoría de Mantenimiento asociada al periodo de tiempo en análisis.

VF = Es el Valor futuro , en este caso el Costo de la categoría de Mantenimiento asociada al periodo de tiempo en análisis. Para nuestro caso 485,490.00 U\$.

n = Es el periodo de tiempo analizado, en nuestro caso es el año 3.

i = Tasa de interés del 12 %

$$VP_3 = \frac{485,490}{(1 + 0.12)^3} = 345,562.19 \text{ U\$}$$

#### 4.4.4 CALCULOS PARA EL AÑO 4 ESCENARIO 3000 HORAS DE OPERACIÓN:

##### a. NUMERO DE ARRANQUES PROMEDIO:

El número de arranques se mantiene constante para todo el análisis de estudio:

$$N_{arr} = \frac{87 + 299 + 308 + 218}{4} = 228$$

##### b. DETERMINACION DEL NUMERO DE HORAS EQUIVALENTES DE OPERACIÓN:

- Para la determinación de las Horas Equivalentes de operación en el Año 4 de Operación que involucra desde las 9,000 a 12,000 horas de operación según el contador de la Central termoeléctrica , se determinan según la ecuación N° 18 y los cuadros N° 10 y 12.

$$HEO_n = HEO_{n-1} + HEO_1$$

$$HEO_4 = 22,680 + 7,560 = 30,240$$

##### c. DETERMINACION DE LA CATEGORIA DE MANTENIMIENTO INVOLUCRADA EN LAS HORAS EQUIVALENTES DE OPERACIÓN:

Se tiene el siguiente cuadro:

Horas Equivalentes de Operación Inicial Año 4 = 22,680

Horas Equivalentes de Operación final Año 4 = 30,240

Teniendo en cuenta los valores de las Categorías de Mantenimiento del Cuadro N° 15 se identifica cuál de ellas está dentro del rango de horas equivalentes de operación del Año 1.

HEO INICIAL		HEO FINAL
22,680		30,240

M8000
-------

Figura N° 38 Asignación de Categoría de Mantenimiento, Año 4 ,3000 HO

Fuente: Elaboración propia

En este caso la Categoría de Mantenimiento M8000 es la única que cae dentro del rango detallado, por lo cual en el año 4, se debe realizar para un Escenario de 3,000 horas de operación ( 9,000 -6,000) una categoría de Mantenimiento de M8000 con un costo de 152,063.00 U\$.

Se debe tener en cuenta de que dentro de ese rango está involucrado M4000 dos veces, pero se reemplaza por la categoría de mantenimiento mayor entre varias categorías que coincidan dentro de ese rango.

**d. ESTIMACION DEL VALOR PRESENTE DEL COSTO DE MANTENIMIENTO M8000 DEL AÑO 4 DEL ESCENARIO DE 3000 HORAS DE OPERACIÓN.**

- Para la determinación del Valor presente del costo de la Categoría de Mantenimiento efectuado al final del Año 4 , debe tener en cuenta la Tasa de Interés del 12 % definida por el Procedimiento N° 34-COES. Se hace uso de la ecuación n° 22.

Dónde :

VP = Es el Valor presente del Costo de la Categoría de Mantenimiento asociada al periodo de tiempo en análisis.

VF = Es el Valor futuro , en este caso el Costo de la categoría de Mantenimiento asociada al periodo de tiempo en análisis. Para nuestro caso 152,063.00 U\$.

n = Es el periodo de tiempo analizado, en nuestro caso es el año 4.

i = Tasa de interés del 12 %

$$VP_4 = \frac{152,063.00}{(1 + 0.12)^4} = 96,638.79 \text{ U\$}$$

- e. Se determinan las horas equivalentes de operación y asocian la categorías de mantenimiento para cada año en análisis (hasta el año 20 ) , hallándose el Valor presente al año cero de cada costo de categoría de mantenimiento según la ecuación N° 22. Los resultados se expresan en el Cuadro N° 47 al final de este subcapítulo.

#### 4.4.5 DETERMINACION DE LA ANUALIDAD DEL MANTENIMIENTO VARIABLE PARA EL PERIODO DE 20 AÑOS EN ANALISIS.

Seguidamente se suman los Valores Presentes de los costos de mantenimiento de cada año de las diversas categorías de mantenimiento asociado a cada año en análisis para el escenario de operación de 3,000 horas. Así tenemos:

$$VP_{total} = VP_1 + VP_2 + VP_3 + \dots + VP_{20}$$

Tenemos el siguiente resultado:

$$VP_{total} = 2'149,284.57$$

Seguidamente se determina la anualidad del costo variable de mantenimiento para el escenario de 3,000 horas de operación a través de la siguiente ecuación de anualidad constante teniendo en cuenta el Valor presente.

$$Anualidad_{3000 \text{ horas de operacion}} = \frac{VP_{total} * i}{\left(1 - \frac{1}{(1+i)^n}\right)}$$

Reemplazando los valores de  $VP_{total}$ , Tasa de interés (i) : 12 % , y n = 20 años , se tiene el siguiente resultado

$$Anualidad_{3000 \text{ horas de operacion}} = 287,743.60 \text{ U\$}$$

Se detallan los resultados de las anualidades de mantenimiento teniendo en cuenta los escenarios de 0, 1,000 , 2,000 , 3,000 , 4,000 , 5,000 , 6,000 , 7,000 y 8,000 horas de operación.(Según la metodología descrita en este subcapítulo)

Cuadro N° 46 Anualidad del Costo Variable de Mantenimiento para un escenario de 0 horas de operación

FLUJOS DE CATEGORIAS Y COSTOS DE MANTENIMIENTO CASO : 0 HORAS DE OPERACIÓN ANUAL												
N°	AÑO	HORAS DE OPERACIÓN		HORAS EQUIVAL.DE OPERACIÓN		M4000	M8000	M16000	M48000	TOTAL	VALOR	
						33,853	152,063	485,490	570,052	U\$	PRESENTE(U\$)	
1	2,011	0	0	0	0					0	0	
2	2,012	0	0	0	0					0	0	
3	2,013	0	0	0	0					0	0	
4	2,014	0	0	0	0					0	0	
5	2,015	0	0	0	0					0	0	
6	2,016	0	0	0	0					0	0	
7	2,017	0	0	0	0					0	0	
8	2,018	0	0	0	0					0	0	
9	2,019	0	0	0	0					0	0	
10	2,020	0	0	0	0					0	0	
11	2,021	0	0	0	0					0	0	
12	2,022	0	0	0	0					0	0	
13	2,023	0	0	0	0					0	0	
14	2,024	0	0	0	0					0	0	
15	2,025	0	0	0	0					0	0	
16	2,026	0	0	0	0					0	0	
17	2,027	0	0	0	0					0	0	
18	2,028	0	0	0	0					0	0	
19	2,029	0	0	0	0					0	0	
20	2,030	0	0	0	0					0	0	
										VALOR PRESENTE TOTAL(U\$)		0
										ANUALIDAD (U\$)		0

Fuente : Elaboración propia

Cuadro N° 47 Anualidad del Costo Variable de Mantenimiento para un escenario de 1,000 horas de operación

FLUJOS DE CATEGORIAS Y COSTOS DE MANTENIMIENTO CASO : 1,000 HORAS DE OPERACIÓN ANUAL													
N°	AÑO	HORAS DE OPERACIÓN		HORAS EQUIVAL.DE OPERACIÓN				M4000	M8000	M16000	M48000	TOTAL	VALOR
								33,853	152,063	485,490	570,052	U\$	PRESENTE(U\$)
1	2,011	0	1,000	0		5,560	1				33,853.00	30,225.89	
2	2,012	1,000	2,000	5,560		11,120		1			152,063.00	121,223.69	
3	2,013	2,000	3,000	11,120		16,680			1		485,490.00	345,562.19	
4	2,014	3,000	4,000	16,680		22,240	1				33,853.00	21,514.19	
5	2,015	4,000	5,000	22,240		27,800		1			152,063.00	86,284.63	
6	2,016	5,000	6,000	27,800		33,360			1		485,490.00	245,964.34	
7	2,017	6,000	7,000	33,360		38,920	1				33,853.00	15,313.38	
8	2,018	7,000	8,000	38,920		44,480		1			152,063.00	61,415.70	
9	2,019	8,000	9,000	44,480		50,040				1	570,052.00	205,566.47	
10	2,020	9,000	10,000	50,040		55,600	1				33,853.00	10,899.76	
11	2,021	10,000	11,000	55,600		61,160		1			152,063.00	43,714.48	
12	2,022	11,000	12,000	61,160		66,720			1		485,490.00	124,613.19	
13	2,023	12,000	13,000	66,720		72,280		1			152,063.00	34,848.91	
14	2,024	13,000	14,000	72,280		77,840	1				33,853.00	6,926.99	
15	2,025	14,000	15,000	77,840		83,400			1		485,490.00	88,697.21	
16	2,026	15,000	16,000	83,400		88,960		1			152,063.00	24,804.77	
17	2,027	16,000	17,000	88,960		94,520	1				33,853.00	4,930.50	
18	2,028	17,000	18,000	94,520		100,080				1	570,052.00	74,129.33	
19	2,029	18,000	19,000	100,080		105,640		1			152,063.00	17,655.54	
20	2,030	19,000	20,000	105,640		111,200	1				33,853.00	3,509.43	
											VALOR PRESENTE TOTAL(U\$)		1,567,800.60
											ANUALIDAD (U\$)		\$ 209,895.23

Fuente : Elaboración propia



Cuadro N° 48 Anualidad del Costo Variable de Mantenimiento para un escenario de 2,000 horas de operación

FLUJOS DE CATEGORIAS Y COSTOS DE MANTENIMIENTO CASO : 2,000 HORAS DE OPERACIÓN ANUAL												
N°	AÑO	HORAS DE OPERACIÓN		HORAS EQUIVAL.DE OPERACIÓN		M4000	M8000	M16000	M48000	TOTAL	VALOR	
						33,853	152,063	485,490	570,052	U\$	PRESENTE(U\$)	
1	2,011	0	2,000	0	6,560	1				33,853.00		30,225.89
2	2,012	2,000	4,000	6,560	13,120		1			152,063.00		121,223.69
3	2,013	4,000	4,250	13,120	19,680			1		485,490.00		345,562.19
4	2,014	4,250	4,500	19,680	26,240		1			152,063.00		96,638.79
5	2,015	4,500	4,750	26,240	32,800			1		485,490.00		275,480.06
6	2,016	4,750	5,000	32,800	39,360	1				33,853.00		17,150.98
7	2,017	5,000	5,250	39,360	45,920		1			152,063.00		68,785.58
8	2,018	5,250	5,500	45,920	52,480				1	570,052.00		230,234.44
9	2,019	5,500	5,750	52,480	59,040		1			152,063.00		54,835.44
10	2,020	5,750	6,000	59,040	65,600			1		485,490.00		156,314.79
11	2,021	6,000	6,250	65,600	72,160		1			152,063.00		43,714.48
12	2,022	6,250	6,500	72,160	78,720	1				33,853.00		8,689.22
13	2,023	6,500	6,750	78,720	85,280			1		485,490.00		111,261.78
14	2,024	6,750	7,000	85,280	91,840		1			152,063.00		31,115.10
15	2,025	7,000	7,250	91,840	98,400				1	570,052.00		104,146.37
16	2,026	7,250	7,500	98,400	104,960		1			152,063.00		24,804.77
17	2,027	7,500	7,750	104,960	111,520	1				33,853.00		4,930.50
18	2,028	7,750	8,000	111,520	118,080			1		485,490.00		63,132.92
19	2,029	8,000	8,250	118,080	124,640		1			152,063.00		17,655.54
20	2,030	8,250	8,500	124,640	131,200	1				33,853.00		3,509.43
										VALOR PRESENTE TOTAL (U\$)		1,809,411.97
										ANUALIDAD (U\$)		\$ 242,241.87

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 49 Anualidad del Costo Variable de Mantenimiento para un escenario de 3,000 horas de operación

FLUJOS DE CATEGORIAS Y COSTOS DE MANTENIMIENTO CASO : 3000 HORAS DE OPERACIÓN ANUAL												
N°	AÑO	HORAS DE OPERACIÓN		HORAS EQUIVAL.DE OPERACIÓN		M4000	M8000	M16000	M48000	TOTAL	VALOR	
						33,853	152,063	485,490	570,052	U\$	PRESENTE(U\$)	
1	2,011	0	3,000	0	7,560	1				33,853.00		30,225.89
2	2,012	3,000	6,000	7,560	15,120		1			152,063.00		121,223.69
3	2,013	6,000	9,000	15,120	22,680			1		485,490.00		345,562.19
4	2,014	9,000	12,000	22,680	30,240		1			152,063.00		96,638.79
5	2,015	12,000	15,000	30,240	37,800			1		485,490.00		275,480.06
6	2,016	15,000	18,000	37,800	45,360		1			152,063.00		77,039.85
7	2,017	18,000	21,000	45,360	52,920				1	570,052.00		257,862.57
8	2,018	21,000	24,000	52,920	60,480		1			152,063.00		61,415.70
9	2,019	24,000	27,000	60,480	68,040			1		485,490.00		175,072.56
10	2,020	27,000	30,000	68,040	75,600		1			152,063.00		48,960.22
11	2,021	30,000	33,000	75,600	83,160			1		485,490.00		139,566.77
12	2,022	33,000	36,000	83,160	90,720		1			152,063.00		39,030.78
13	2,023	36,000	39,000	90,720	98,280				1	570,052.00		130,641.21
14	2,024	39,000	42,000	98,280	105,840		1			152,063.00		31,115.10
15	2,025	42,000	45,000	105,840	113,400			1		485,490.00		88,697.21
16	2,026	45,000	48,000	113,400	120,960		1			152,063.00		24,804.77
17	2,027	48,000	51,000	120,960	128,520			1		485,490.00		70,708.87
18	2,028	51,000	54,000	128,520	136,080		1			152,063.00		19,774.21
19	2,029	54,000	57,000	136,080	143,640			1		485,490.00		56,368.68
20	2,030	57,000	60,000	143,640	151,200				1	570,052.00		59,095.45
										VALOR PRESENTE TOTAL (U\$)		2,149,284.57
										ANUALIDAD (U\$)		\$ 287,743.60

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 50 Anualidad del Costo Variable de Mantenimiento para un escenario de 4,000 horas de operación

FLUJOS DE CATEGORIAS Y COSTOS DE MANTENIMIENTO CASO : 4,000 HORAS DE OPERACIÓN ANUAL												
N°	AÑO	HORAS DE OPERACIÓN		HORAS EQUIVAL.DE OPERACIÓN			M4000	M8000	M16000	M48000	TOTAL	VALOR
							33,853	152,063	485,490	570,052	U\$	PRESENTE(U\$)
1	2,011	0	4,000	0	8,560		1			152,063.00	135,770.54	
2	2,012	4,000	8,000	8,560	17,120			1		485,490.00	387,029.66	
3	2,013	8,000	12,000	17,120	25,680		1			152,063.00	108,235.44	
4	2,014	12,000	16,000	25,680	34,240			1		485,490.00	308,537.67	
5	2,015	16,000	20,000	34,240	42,800		1			152,063.00	86,284.63	
6	2,016	20,000	24,000	42,800	51,360				1	570,052.00	288,806.08	
7	2,017	24,000	28,000	51,360	59,920		1			152,063.00	68,785.58	
8	2,018	28,000	32,000	59,920	68,480			1		485,490.00	196,081.27	
9	2,019	32,000	36,000	68,480	77,040		1			152,063.00	54,835.44	
10	2,020	36,000	40,000	77,040	85,600			1		485,490.00	156,314.79	
11	2,021	40,000	44,000	85,600	94,160		1			152,063.00	43,714.48	
12	2,022	44,000	48,000	94,160	102,720				1	570,052.00	146,318.15	
13	2,023	48,000	52,000	102,720	111,280		1			152,063.00	34,848.91	
14	2,024	52,000	56,000	111,280	119,840			1		485,490.00	99,340.87	
15	2,025	56,000	60,000	119,840	128,400			1		485,490.00	88,697.21	
16	2,026	60,000	64,000	128,400	136,960		1			152,063.00	24,804.77	
17	2,027	64,000	68,000	136,960	145,520				1	570,052.00	83,024.85	
18	2,028	68,000	72,000	145,520	154,080			1		485,490.00	63,132.92	
19	2,029	72,000	76,000	154,080	162,640		1			152,063.00	17,655.54	
20	2,030	76,000	80,000	162,640	171,200			1		485,490.00	50,329.18	
VALOR PRESENTE TOTAL (U\$)											2,442,547.98	
ANUALIDAD (U\$)											\$ 327,005.34	

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 51 Anualidad del Costo Variable de Mantenimiento para un escenario de 5,000 horas de operación

FLUJOS DE CATEGORIAS Y COSTOS DE MANTENIMIENTO CASO : 5,000 HORAS DE OPERACIÓN ANUAL												
N°	AÑO	HORAS DE OPERACIÓN		HORAS EQUIVAL.DE OPERACIÓN		M4000	M8000	M16000	M48000	TOTAL	VALOR	
						33,853	152,063	485,490	570,052	U\$	PRESENTE(U\$)	
1	2,011	0	5,000	0	9,560		1			152,063.00	135,770.54	
2	2,012	5,000	10,000	9,560	19,120			1		485,490.00	387,029.66	
3	2,013	10,000	15,000	19,120	28,680		1			152,063.00	108,235.44	
4	2,014	15,000	20,000	28,680	38,240			1		485,490.00	308,537.67	
5	2,015	20,000	25,000	38,240	47,800		1			152,063.00	86,284.63	
6	2,016	25,000	30,000	47,800	57,360				1	570,052.00	288,806.08	
7	2,017	30,000	35,000	57,360	66,920			1		485,490.00	219,611.02	
8	2,018	35,000	40,000	66,920	76,480		1			152,063.00	61,415.70	
9	2,019	40,000	45,000	76,480	86,040			1		485,490.00	175,072.56	
10	2,020	45,000	50,000	86,040	95,600		1			152,063.00	48,960.22	
11	2,021	50,000	55,000	95,600	105,160				1	570,052.00	163,876.33	
12	2,022	55,000	60,000	105,160	114,720			1		485,490.00	124,613.19	
13	2,023	60,000	65,000	114,720	124,280		1			152,063.00	34,848.91	
14	2,024	65,000	70,000	124,280	133,840			1		485,490.00	99,340.87	
15	2,025	70,000	75,000	133,840	143,400		1			152,063.00	27,781.34	
16	2,026	75,000	80,000	143,400	152,960				1	570,052.00	92,987.83	
17	2,027	80,000	85,000	152,960	162,520			1		485,490.00	70,708.87	
18	2,028	85,000	90,000	162,520	172,080		1			152,063.00	19,774.21	
19	2,029	90,000	95,000	172,080	181,640			1		485,490.00	56,368.68	
20	2,030	95,000	100,000	181,640	191,200		1			152,063.00	15,763.88	
										VALOR PRESENTE TOTAL (U\$)		2,525,787.63
										ANUALIDAD (U\$)		\$ 338,149.37

Fuente : Elaboración propia

Cuadro N° 52 Anualidad del Costo Variable de Mantenimiento para un escenario de 6,000 horas de operación

FLUJOS DE CATEGORIAS Y COSTOS DE MANTENIMIENTO CASO : 6,000 HORAS DE OPERACIÓN ANUAL													
N°	AÑO	HORAS DE OPERACIÓN			HORAS EQUIVAL.DE OPERACIÓN			M4000	M8000	M16000	M48000	TOTAL	VALOR
								33853	152063	485490	570052	U\$	PRESENTE(U\$)
1	2,011	0		6,000	0		10,560		1			152,063.00	135,770.54
2	2,012	6,000		12,000	10,560		21,120			1		485,490.00	387,029.66
3	2,013	12,000		18,000	21,120		31,680		1			152,063.00	108,235.44
4	2,014	18,000		24,000	31,680		42,240			1		485,490.00	308,537.67
5	2,015	24,000		30,000	42,240		52,800				1	570,052.00	323,462.81
6	2,016	30,000		36,000	52,800		63,360		1			152,063.00	77,039.85
7	2,017	36,000		42,000	63,360		73,920			1		485,490.00	219,611.02
8	2,018	42,000		48,000	73,920		84,480			1		485,490.00	196,081.27
9	2,019	48,000		54,000	84,480		95,040		1			152,063.00	54,835.44
10	2,020	54,000		60,000	95,040		105,600				1	570,052.00	183,541.49
11	2,021	60,000		66,000	105,600		116,160			1		485,490.00	139,566.77
12	2,022	66,000		72,000	116,160		126,720		1			152,063.00	39,030.78
13	2,023	72,000		78,000	126,720		137,280			1		485,490.00	111,261.78
14	2,024	78,000		84,000	137,280		147,840				1	570,052.00	116,643.93
15	2,025	84,000		90,000	147,840		158,400		1			152,063.00	27,781.34
16	2,026	90,000		96,000	158,400		168,960			1		485,490.00	79,193.94
17	2,027	96,000		102,000	168,960		179,520			1		485,490.00	70,708.87
18	2,028	102,000		108,000	179,520		190,080		1			152,063.00	19,774.21
19	2,029	108,000		114,000	190,080		200,640				1	570,052.00	66,186.90
20	2,030	114,000		120,000	200,640		211,200			1		485,490.00	50,329.18
VALOR PRESENTE TOTAL (U\$)												2,714,622.89	
ANUALIDAD (U\$)												\$ 363,430.40	

Fuente : Elaboración propia

Cuadro N° 53 Anualidad del Costo Variable de Mantenimiento para un escenario de 7,000 horas de operación

FLUJOS DE CATEGORIAS Y COSTOS DE MANTENIMIENTO CASO : 7,000 HORAS DE OPERACIÓN ANUAL											
N°	AÑO	HORAS DE OPERACIÓN		HORAS EQUIVAL.DE OPERACIÓN		M4000	M8000	M16000	M48000	TOTAL	VALOR
						33,853	152,063	485,490	570,052	U\$	PRESENTE(U\$)
1	2,011	0	7,000	0	11,560		1			152,063.00	135,770.54
2	2,012	7,000	14,000	11,560	23,120			1		485,490.00	387,029.66
3	2,013	14,000	21,000	23,120	34,680			1		485,490.00	345,562.19
4	2,014	21,000	28,000	34,680	46,240		1			152,063.00	96,638.79
5	2,015	28,000	35,000	46,240	57,800				1	570,052.00	323,462.81
6	2,016	35,000	42,000	57,800	69,360			1		485,490.00	245,964.34
7	2,017	42,000	49,000	69,360	80,920			1		485,490.00	219,611.02
8	2,018	49,000	56,000	80,920	92,480		1			152,063.00	61,415.70
9	2,019	56,000	63,000	92,480	104,040				1	570,052.00	205,566.47
10	2,020	63,000	70,000	104,040	115,600			1		485,490.00	156,314.79
11	2,021	70,000	77,000	115,600	127,160		1			152,063.00	43,714.48
12	2,022	77,000	84,000	127,160	138,720			1		485,490.00	124,613.19
13	2,023	84,000	91,000	138,720	150,280				1	570,052.00	130,641.21
14	2,024	91,000	98,000	150,280	161,840			1		485,490.00	99,340.87
15	2,025	98,000	105,000	161,840	173,400		1			152,063.00	27,781.34
16	2,026	105,000	112,000	173,400	184,960			1		485,490.00	79,193.94
17	2,027	112,000	119,000	184,960	196,520				1	570,052.00	83,024.85
18	2,028	119,000	126,000	196,520	208,080			1		485,490.00	63,132.92
19	2,029	126,000	133,000	208,080	219,640		1			152,063.00	17,655.54
20	2,030	133,000	140,000	219,640	231,200			1		485,490.00	50,329.18
										VALOR PRESENTE TOTAL (U\$)	2,896,763.81
										ANUALIDAD (U\$)	\$ 387,815.21

Fuente : Elaboración propia

Cuadro N° 54 Anualidad del Costo Variable de Mantenimiento para un escenario de 8,000 horas de operación

FLUJOS DE CATEGORIAS Y COSTOS DE MANTENIMIENTO CASO : 8,000 HORAS DE OPERACIÓN ANUAL											
N°	AÑO	HORAS DE OPERACIÓN		HORAS EQUIVAL.DE OPERACIÓN		M4000	M8000	M16000	M48000	TOTAL	VALOR
						33,853	152,063	485,490	570,052	U\$	PRESENTE(U\$)
1	2,011	0	8,000	0	12,560		1			152,063.00	135,770.54
2	2,012	8,000	16,000	12,560	25,120			1		485,490.00	387,029.66
3	2,013	16,000	24,000	25,120	37,680			1		485,490.00	345,562.19
4	2,014	24,000	32,000	37,680	50,240				1	570,052.00	362,278.35
5	2,015	32,000	40,000	50,240	62,800		1			152,063.00	86,284.63
6	2,016	40,000	48,000	62,800	75,360			1		485,490.00	245,964.34
7	2,017	48,000	56,000	75,360	87,920			1		485,490.00	219,611.02
8	2,018	56,000	64,000	87,920	100,480				1	570,052.00	230,234.44
9	2,019	64,000	72,000	100,480	113,040			1		485,490.00	175,072.56
10	2,020	72,000	80,000	113,040	125,600		1			152,063.00	48,960.22
11	2,021	80,000	88,000	125,600	138,160			1		485,490.00	139,566.77
12	2,022	88,000	96,000	138,160	150,720				1	570,052.00	146,318.15
13	2,023	96,000	104,000	150,720	163,280			1		485,490.00	111,261.78
14	2,024	104,000	112,000	163,280	175,840		1			152,063.00	31,115.10
15	2,025	112,000	120,000	175,840	188,400			1		485,490.00	88,697.21
16	2,026	120,000	128,000	188,400	200,960				1	570,052.00	92,987.83
17	2,027	128,000	136,000	200,960	213,520			1		485,490.00	70,708.87
18	2,028	136,000	144,000	213,520	226,080			1		485,490.00	63,132.92
19	2,029	144,000	152,000	226,080	238,640		1			152,063.00	17,655.54
20	2,030	152,000	160,000	238,640	251,200				1	570,052.00	59,095.45
VALOR PRESENTE TOTAL (U\$)										3,057,307.57	
ANUALIDAD (U\$)										\$ 409,308.61	

Fuente: Elaboración propia

#### 4.5 DETERMINACION DEL COSTO VARIABLE DE MANTENIMIENTO:

Se tiene el cuadro resumen de los costos variables de mantenimiento por escenario y su anualidad

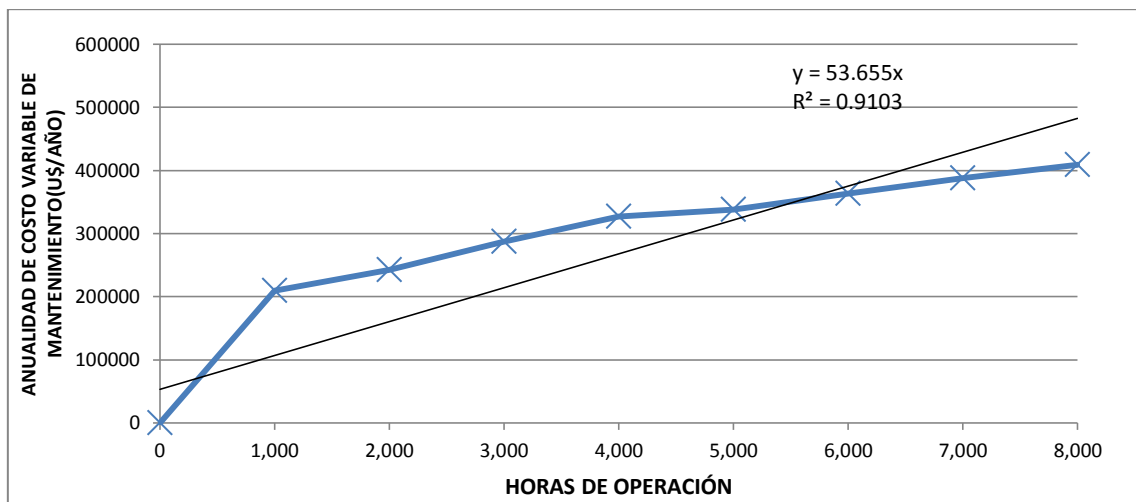
Cuadro N° 55 Resumen Anualidad del Costo Variable de Mantenimiento para diversos escenarios de operación

ESCENARIOS	HORAS ANUALES DE OPERACIÓN	ENERGIA GENERADA (MWh/año)	VALOR PRESEN COSTO VAR. MANT.(U\$)	ANUALIDAD CVM (U\$/AÑO)
ESCENARIO 1	0	0	0	0
ESCENARIO 2	1,000	25,000	1,567,800.60	209,895.23
ESCENARIO 3	2,000	50,000	1,809,411.97	242,241.87
ESCENARIO 4	3,000	75,000	2,149,284.57	287,743.60
ESCENARIO 5	4,000	100,000	2,442,547.98	327,005.34
ESCENARIO 6	5,000	125,000	2,525,787.63	338,149.37
ESCENARIO 7	6,000	150,000	2,714,622.89	363,430.40
ESCENARIO 8	7,000	175,000	2,896,763.81	387,815.21
ESCENARIO 9	8,000	200,000	3,057,307.57	409,308.61

Fuente: Elaboración propia.

Asi mismo se presenta la grafica entre el comportamiento de la anualidad del costo variable de mantenimiento según los escenarios analizados.

Grafico N° 1 Comportamiento de la Anualidad del Costo Variable de Mantenimiento según escenarios de operación en horas



Fuente: Elaboración propia.



Del gráfico anterior, al representar (según lo que el Procedimiento N° 34, reglamenta) la línea de tendencia y su ecuación de la recta, notamos que el valor de la pendiente es igual a 53.63.

Con este último valor se realiza un ajuste a los valores de las anualidades del costo variable de mantenimiento, según el siguiente procedimiento:

$$\text{Anualidad ajustada}_{\text{CVM}} = 53.63 * \text{Horas anuales de operación}$$

Así mismo el Costo Total de mantenimiento se obtiene por la suma entre el costo fijo anual de mantenimiento y la anualidad ajustada del costo variable de mantenimiento para cada caso.

$$\text{Costo total de Mant} = \text{Anualidad ajustada}_{\text{CVM}} + \text{Costo Fijo anual de mant.}$$

Se presenta el siguiente cuadro resumen:

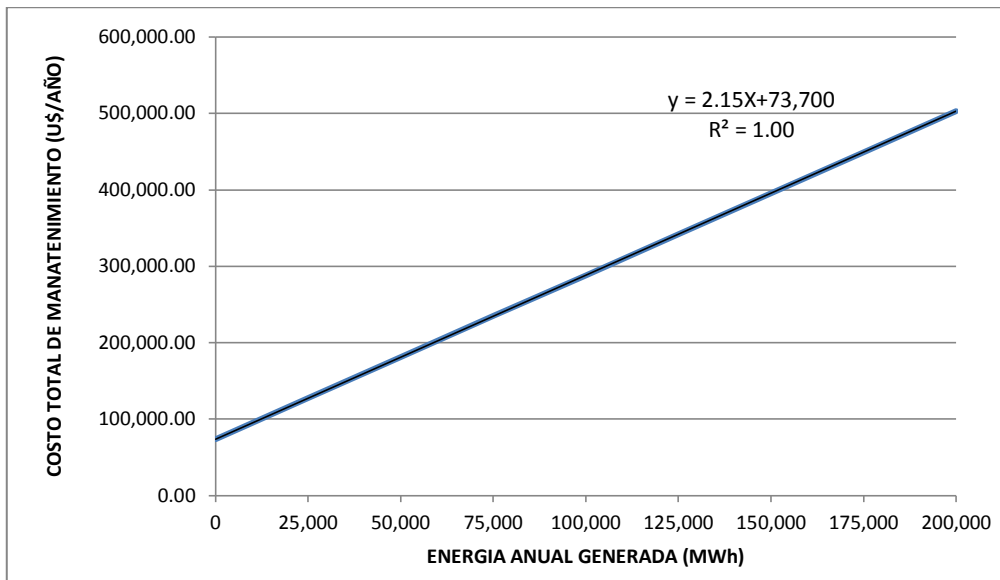
Cuadro N° 56 Resumen Anualidad del Costo Variable de Mantenimiento para diversos escenarios de operación

ESCENARIOS	HORAS ANUALES DE OPERACIÓN	ENERGIA GENERADA (MWh/año)	COSTO FIJO MANT.(U\$/AÑO)	ANUALIDAD CVM AJUSTADA(U\$/AÑO)	COSTO TOTAL DE MANTEN. (U\$/AÑO)
ESCENARIO 1	0	0	73,700.00	0.00	73,700.00
ESCENARIO 2	1,000	25,000	73,700.00	53,650.00	127,350.00
ESCENARIO 3	2,000	50,000	73,700.00	107,300.00	181,000.00
ESCENARIO 4	3000	75,000	73,700.00	160,950.00	234,650.00
ESCENARIO 5	4,000	100,000	73,700.00	214,600.00	288,300.00
ESCENARIO 6	5,000	125,000	73,700.00	268,250.00	341,950.00
ESCENARIO 7	6,000	150,000	73,700.00	321,900.00	395,600.00
ESCENARIO 8	7,000	175,000	73,700.00	375,550.00	449,250.00
ESCENARIO 9	8,000	200,000	73,700.00	429,200.00	502,900.00

Fuente: Elaboración propia.

Se grafica así mismo el comportamiento del costo total de mantenimiento y la energía anual generada en función a los escenarios de operación evaluados.

Grafico N° 2 Comportamiento del Costo Total de Mantenimiento Anual según horas de operación



Fuente: Elaboración propia.

El valor de la pendiente obtenida igual a 2.15 representa al valor del costo variable de mantenimiento para un número de arranques igual a 228. Por lo tanto:

Costo Variable de Mantenimiento = 2.15 U\$/MWh

Así mismo se ha realizado una simulación para diversas posibilidades de números de arranques anuales, para lo cual se ha determinado el valor del Costo Variable de Mantenimiento y el respectivo Costo de Mantenimiento total Anual. Teniendo en cuenta según el Cuadro N° 11 la generación anual de energía, la cual es de 142 GWh/año (142,000 MWh/año)

Cuadro N° 57 Costo Total de Mantenimiento y Costo Unitario de Mantenimiento para diversos números de arranques con la generación actual de energía

N° de Arranques	CVM (U\$/MWh)	COSTO VAR MANTEN (U\$/Año)	COSTO FIJO MANTEN. (U\$/Año)	COSTO TOTAL MANTEN. (U\$/Año)	COSTO UNT. MANT (U\$/MWh)
50	1.32	187,440.00	73,700.00	261,140.00	1.84
100	1.73	245,660.00	73,700.00	319,360.00	2.25
228	2.15	305,300.00	73,700.00	379,000.00	2.67
300	2.21	313,820.00	73,700.00	387,520.00	2.73

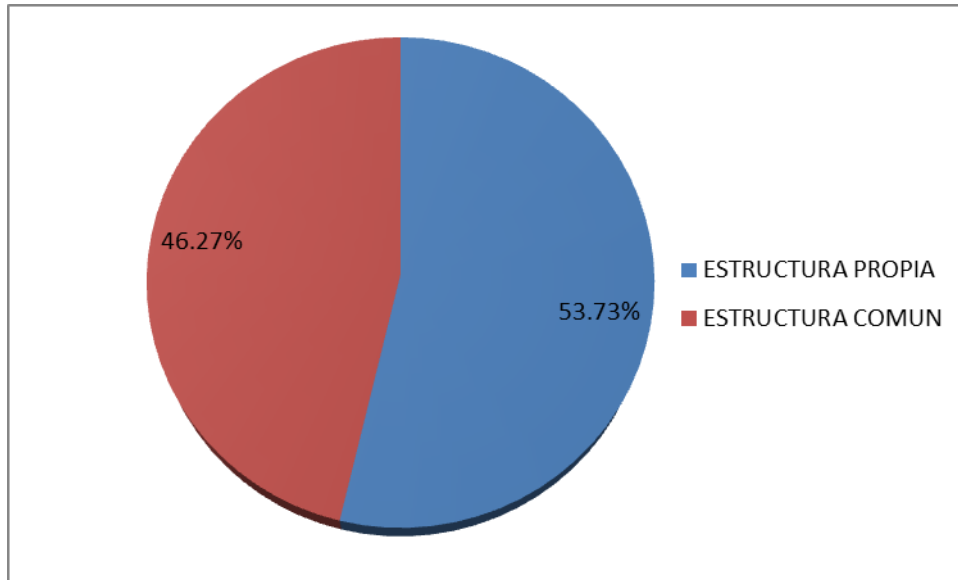
Fuente: Elaboración propia.

#### 4.6 DISCUSION DE RESULTADOS:

- La Central Termoeléctrica de Independencia está conformada por 4 Grupos o unidades de generación del tipo prime, con una Potencia efectiva de 6.25 MW cada una de ellas, con un total de 25 MW de potencia efectiva para toda la Central de generación de energía que opera con gas natural y con ciclo termodinámico Otto para motores de combustión interna con encendido por explosión.
- La Central Termoeléctrica de Independencia está conformada por 4 Grupos o unidades de generación del tipo prime, con una Potencia efectiva de 6.25 MW cada una de ellas, con un total de 25 MW de potencia efectiva para toda la Central de generación de energía que opera con gas natural y con ciclo termodinámico Otto para motores de combustión interna con encendido por explosión.
- La eficiencia actual de planta es de 44.4 % , mientras que el valor del Heat Rate es de 8.734 MMBTU/MWh , como parámetros técnicos de comportamientos , la cual ha mejorado un valor de 0.47 % con respecto al valor declarado por la empresa ante el OSINERGMIN. Mientras que el valor del Costo Variable combustible es de 22.53 U\$/MWh , lo cual representa un valor de mejora del orden de 0.57 % con respecto al valor declarado un año antes ante el OSINERGMIN.
- Los Costos Fijos Anuales de mantenimiento tienen un valor anual de 73,700.00 U\$ , los cuales involucran los costos menores de mantenimiento ( inferiores a periodos de

1000 horas equivalentes de operación) y también los mantenimientos del tipo predictivo. De donde ,el Costo Fijo de mantenimiento tiene las siguientes componentes:

Grafico N° 3 Distribución porcentual del Costo Fijo de Mantenimiento



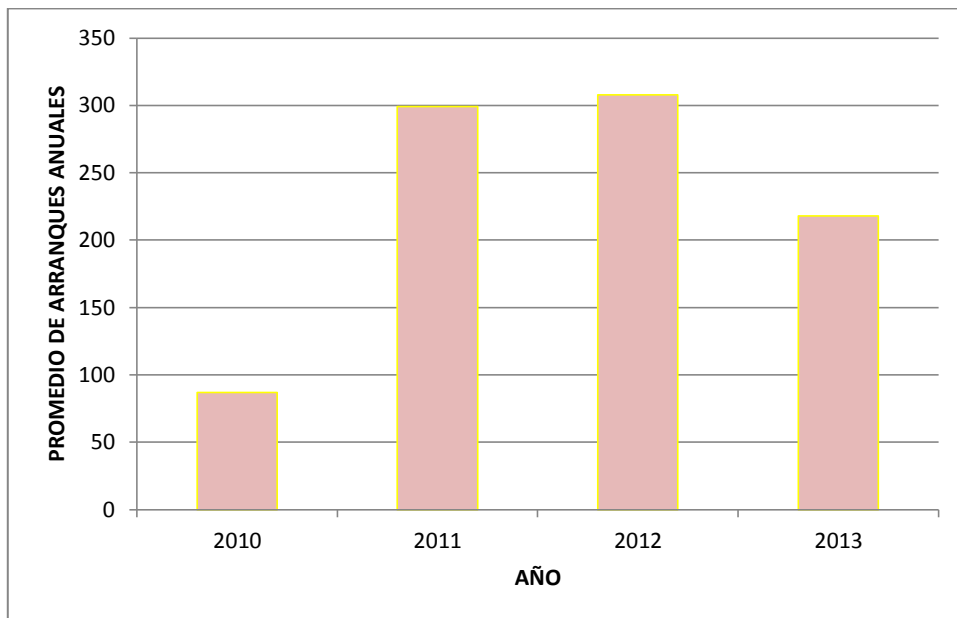
Fuente: Elaboración propia.

- Se han definido categorías de mantenimiento para la determinación de los costos variables de mantenimiento, así tenemos las Categorías agrupadas por sus horas equivalentes de operación M4000, M8000 , M16,000 y M48,000 , cada uno con su respectivo costo. Tal como se puede observar en el Cuadro N° 15 , con la característica de que en las Categorías M16000 y M48000 ,están contenido parte de los contenidos de las categorías M4000 y M8000 , al ser excluyentes uno a otro al momento de determinar el costo variable combustible. Para la determinación de las categorías de mantenimiento hacemos notar que se tiene en cuenta la Norma ISO 3046-1 (documento normativo de operación y mantenimiento de generadores termoeléctricos con motores alternativos)
- Se ha desarrollada la Metodología propuesta y normada Procedimiento N° 34-COES , en la cual se determinan los costos variables de mantenimiento de las Centrales Termoeléctricas del Perú acopladas al Sistema Eléctrico Interconectado nacional. Determinándose un valor de la Anualidad de mantenimiento para los diversos

escenarios de operación propuestos (0 , 1,000 , 2,000 , 3,000 , 4,000 , 5,000 , 6,000 , 7,000 y 8,000 horas de operación). En este caso se toma el caso extremo de 8,000 horas , el cual supera al valor promedio de horas de operación de la Central Térmica de Independencia , la cual es de 7,181 horas.

- De la información histórica que se tiene del número de arranques de la Central Termoeléctrica Independencia (Ver Cuadro N° 10) , se nota que esta ha venido aumentando desde el año 2010 a la fecha. Esto se debe a que su frecuencia de participación en el despacho de energía se ha visto afectado por la presencia de las Centrales de Ciclo Combinado que han entrado en operación desde el año 2011 , los unidades de Chilca y Kallpa (1,860 MW de Potencia efectiva), la cual continuamente las ha desplazado de la operación en ciertos periodos de tiempo, lo cual ha provocado el crecimiento número de arranques y paradas.

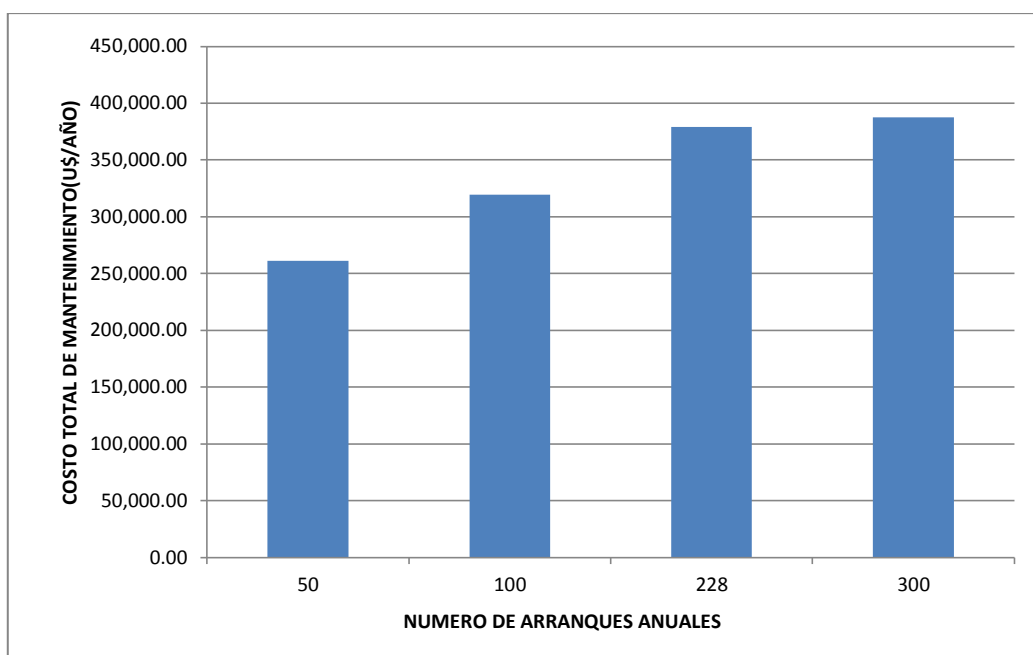
Grafico N° 4 Histórico promedio de arranques anuales Central Termoeléctrica Independencia



Fuente: Elaboración propia.

- SE ha realizado un ajuste a los valores de las anualidades de los costos variables de mantenimiento, obteniéndose el valor de la pendiente de la recta del grafico N° 2 lo cual nos reporta un valor de 2.15 U\$/MWh como costo variable de mantenimiento para un periodo de arranques de 228.
- Según el Cuadro N° 26 se representa el efecto del número de arranques sobre el costo de mantenimiento, así tenemos que para la misma cantidad de energía generada por la Central Termoeléctrica Independencia cuando es menor el número de arranques los costos son menores tal como se representa en el siguiente gráfico:

Grafico N° 5 Comportamiento del Costo Total de Mantenimiento Anual según número de arranques



Fuente: Elaboración propia.

- De la misma manera se tiene las diferencias de costos ante los casos de :  
 Numero de Arranques =50 . Ahorro estimado U\$ 117,860  
 Numero de Arranques =100 Ahorro estimado U\$ 59,640.00

- Se tiene también el incremento de los costos si se continua con el incremento del número de arranques (el cual se daría en el caso de tener un arranque cercano a 1 vez por día)

Numero de Arranques =300    Incremento del costo U\$ 8,520

- Con referencia al aporte del Costo de Mantenimiento al Costo Variable Total o Costo de Operación de la Central Termoeléctrica Independencia para la orden del despacho se tiene el siguiente calculo :

$$CVNC = CMantenimiento + Otros Costos$$

Donde otros costos son costos declarados por la Empresa para cubrir sus Costos Administrativos, financieros y de arranque y parada) ,el cual es de 2.0 U\$/MWh.

Con lo cual se tendría la siguiente estructura de costos de operación para el orden de despacho de generación:

Cuadro N° 58 Estructura de los Costos de Operacion

N° de Arranques	COSTO UNT. MANT (U\$/MWh)	OTROS COSTOS (U\$/MWh)	CVNC (U\$/MWh)	CVC (U\$/MWh)	COSTO OPERACIÓN (U\$/MWh)
50	1.84	2	3.84	22.53	26.37
100	2.25	2	4.25	22.53	26.78
228	2.67	2	4.67	22.53	27.20
300	2.73	2	4.73	22.53	27.26

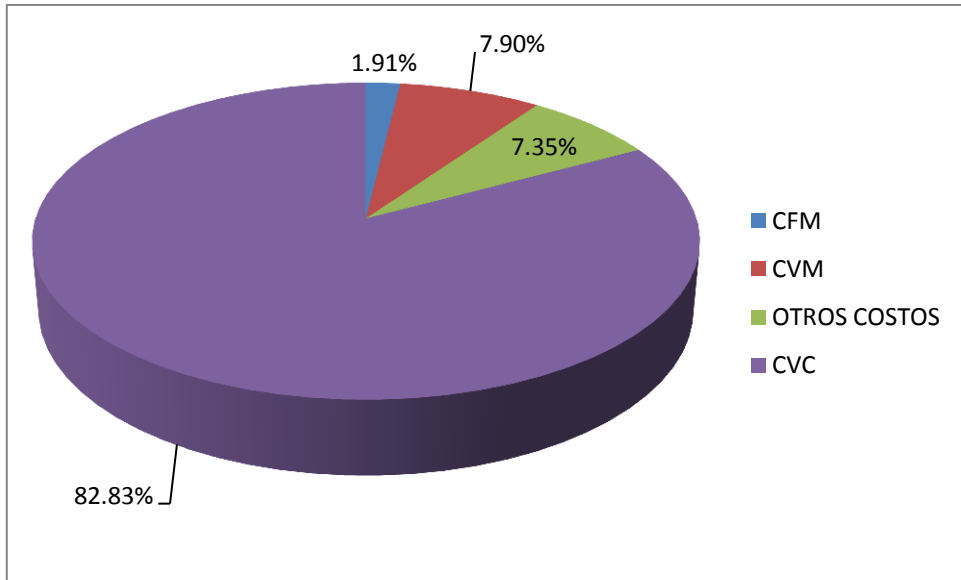
Fuente : Elaboración Propia

Se tiene el Costo de Operación se ha incrementado desde 26.33 a 27.20 U\$/MWh , en un porcentaje del 3.30 % , aun manteniéndose por debajo del valor declarado por la Central Termoeléctrica El Tablazo (Según Cuadro N° 7 es 28.18 U\$/MWh). Con lo cual su Costo se ha incrementado en 0.87 U\$/MWh.

Con una pérdida económica de = 0.87\*179,510 = 156,173.70 U\$.

- Con lo cual el Costo de Mantenimiento para el caso de 228 arranques al año representa un 7.90 y 7.35 % (Costos Variables y Costos Fijos de Mantenimiento) del total del costo de operación .

Grafico N° 6 Porcentaje de participación de los costos de Mantenimiento en el Costo de Operación de la Central Termoeléctrica



Fuente: Elaboración propia.



**CONCLUSIONES**  
**Y**  
**RESULTADOS**

## CONCLUSIONES

1. Se determinó las características técnicas operativas de la Central Termoeléctrica Independencia de 25 MW de Potencia Efectiva la cual tiene una eficiencia de planta del 44.4 % y un Heat Rate de 8.734 U\$/MWh , los cuales son valores aceptables para este tipo de máquinas , teniendo en cuenta que es una unidad reconvertida de Ciclo Diésel a ciclo Otto con sobrealimentación. Así mismo su costo variable combustible es de 22.53 U\$/MWh , valor con el cual tiene preferencia en el despacho de generación después de las Centrales Térmicas de Ciclo Combinado y antes de las Centrales Termoeléctricas del tipo Ciclo Joule Brayton Simple Abierto ( el más cercano es la CT el Tablazo )
2. Se han establecido cuatro categorías de mantenimiento en función a las horas equivalentes de operación , tal como lo estipula la Norma ISO 3046-1 para Motores Alternativos usados en la generación de energía , los cuales son M4000 , M8000 , M16000 y M48000 en horas equivalentes de operación con costos asociados a estas categorías de : 33,853.00 , 152,063.00 , 485,490.00 y 570,052.00 U\$ respectivamente.
3. Se determinó el Costo Fijo de Mantenimiento Anual de la Central Termoeléctrica Independencia con Gas Natural de 25 MW con un valor de 73,700.00 U\$ , con costos asociados a cada grupo de manera individual y costos en común para toda la Central. En este tipo de costo se incluyen los costos menores de mantenimiento inferiores a 1,000 horas de operación y los costos por mantenimiento predictivo.
4. El Costo variable de mantenimiento se determinó para un numero de arranques de 228 , tomando como base la metodología del Procedimiento N° 34 del COES en la cual se contemplan tan solo 4 escenarios de tiempos , para nuestro caso se han establecido 9 escenarios de comportamiento , obteniéndose un valor de 2.15 U\$/MWh permitiendo una mejor valor al estimado por el COES.
5. El Costo total de mantenimiento unitario para 228 arranques al año es de 2.67 U\$/MWh el cual tiende a disminuir a medida de que se reduce el número de arranques

anuales de la Central termoeléctrica, representando un 9.81 % del Costo total de Operación.

6. Se establece que el número de arranques influye en la determinación del costo de mantenimiento de la Central Termoeléctrica Independencia de 25 MW, permitiendo a través de la presente metodología aplicada un mejor posicionamiento de la Central de Energía en el despacho de generación. Así mismo se demuestra como aporte del presente estudio que al incluir un mayor número de escenarios de horas de operación se consiguen optimar resultados en el cálculo del costo de mantenimiento

## RECOMENDACIONES:

1. Se sugiere establecer una optimización a los Procedimientos de generación, aunque ya están establecidos y lo ejecutan todas las centrales de generación del Perú, tienen algún punto que necesita mejorar, tal como se ha demostrado en el presente estudio.
2. Es recomendable afinar los escenarios a casos de 200 horas de operación a menos o casos extremos mayores a 8,000 horas de operación, para ver el comportamiento de la variable costo de mantenimiento en situaciones de mínima producción y máxima producción de generación de energía.
3. Es necesario la realización de eventos de difusión de los procedimientos establecidos por el COES y la Normatividad Internacional que involucra a la generación de energía los cuales permitirían tener una visión real de lo que ocurre en nuestro sistema de generación de energía.
4. En el Plan de Estudios de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería en Energía se deben incluir temas referentes a despacho y operaciones de sistemas energéticos que permitan optimizar y controlar la operación de la generación al mínimo costo ,ya sea en los Cursos de Plantas Generadoras de Potencia como en Sistemas Eléctricos de Potencia.

# **REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

### TEXTOS

- ALVAREZ FLORES, Jesús. "Motores de Combustión Interna". Ediciones de la Universidad Politécnica de Cataluña. 1º Edición. España. 2010 520 p.  
ISBN 8483018187
- ARIAS PAZ. "Manual del Automóvil". Editorial Dossat. 56º Edición. España. 2010.  
1107p.  
ISBN 9788496437388
- CABRONERO, Daniel. "Motores de Combustion Interna". Editorial Escuela Nautica. 2º Edición. España. 2003.160p.  
ISBN 9788492137756
- COES-SINAC . "Procedimiento N° 034-2010 Metodología para la determinación de los Costos variables de Mantenimiento de las Centrales Termoeléctricas pertenecientes al SEIN ". COES-SINAC. Norma legal. 1º Edición. 2010. 30 p.
- DA SILVA SANTOS, Renato. "Resumen del Estudio de la Influencia del ciclo de arranque y paradas en el estator de generadores síncronos". Empresa ELECTROBRAS. 1º Edición. Brasil. 2013. 5 p.
- DE BONA, José María. "Gestión del mantenimiento: Guía del responsable". Editorial Illustrated FC Editorial. 3º Edición. España. 1999. 440 p.  
ISBN 848978681X
- GANESAN. "Internal Combustion Engine". Editorial mc Graw Hill Educación. 4º Edición. USA. 2010. 768 p.  
ISBN 0070648174.

- GUEVARA. "Manual de Plantas Generadoras de Potencia". Universidad Nacional del Santa.2013. 80 p.
- ROVIRA DE ANTONIO, Jose. "Motores de Combustión Interna". Editorial UNED. USA.2015. 511 p.  
ISBN 843627086X

#### **CITAS WEB**

- BOSCH. "Sistemas de inyección electrónica". USA.2010. . [Consulta: 04 de octubre del 2014].Disponible en:  
[http://www.boschautopartes.mx/Cat%C3%A1logos/Documents/Cat%C3%A1logo%20Engine%20Management%202015\(LR\).pdf](http://www.boschautopartes.mx/Cat%C3%A1logos/Documents/Cat%C3%A1logo%20Engine%20Management%202015(LR).pdf)
- CAT. "Dimensionamiento de motores y de los generadores en aplicaciones de energía eléctrica" .USA.2005. [Consulta: 04 de octubre del 2016].Disponible en:  
<https://es.slideshare.net/Otorongosabroso/dimensionamiento-de-los-motores-y-generadores-en-aplicaciones-de-energa-elctrica-gua-de-aplicacin-e-instalacin-caterpillar-24322562>
- CUMMINS. "Manual de aplicación. Conjunto generadores enfriados con líquido". USA.2011. [Consulta: 22 de setiembre del 2016].Disponible en:  
<https://powergenapps.cummins.com/www/literature/applicationmanuals/t030-es.pdf>
- **ENERSUR**. "Determinación de costos variables no combustibles". Peru.2013. [Consulta: 04 de setiembre del 2014].Disponible en:  
[http://www2.osinerg.gob.pe/procreg/tarifasbarra/ProcNov04-Abril05/pdf/present\\_coes/anexo%20F2.pdf](http://www2.osinerg.gob.pe/procreg/tarifasbarra/ProcNov04-Abril05/pdf/present_coes/anexo%20F2.pdf)
- **ISO**, "Norma ISO 3046-2002 para Mantenimiento de Motores de combustión interna". Normas ISO . USA. [Consulta: 04 de setiembre del 2014].Disponible en:  
[http://www.iso.org/iso/catalogue\\_detail.htm?csnumber=28330](http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=28330)

- **MARTINEZ VILLEGAS.** “Motores de combustión interna”. España. 2007. . [Consulta: 10 de noviembre del 2014].Disponible en:  
[file:///C:/Users/USER/Downloads/Motores%20de%20combusti%C3%B3n%20interna%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/USER/Downloads/Motores%20de%20combusti%C3%B3n%20interna%20(1).pdf)
- **RENOVATEC,** “Operación de centrales Térmicas de ciclo Combinado” . España. 2009. [Consulta: 02 de setiembre del 2014].Disponible en:  
<http://www.cicloscombinados.com/operacionctcc.html>

## TESIS

- **CAMPINI JIMENEZ, Amaya.** “Optimización de la participación de las centrales de ciclo combinado al mercado eléctrico español”. Tesis para optar el Grado de Magister en Gestión Técnica y Económica del sector eléctrico. Universidad Pontificia de comillas. España. 2002. 104 p.
- **CORREA POSADA, Carlos.** “Modelo de optimización para plantas de generación de ciclo combinado en el despacho económico”. Tesis para optar el grado de Magister en Ingeniería de Sistemas. Universidad nacional de Colombia. 2009.117 p.
- **MOLINA PASTOR , Arnau.** “Study of the influence of loading history on the residual life of the devices of thermoelectric plants optimize the management of energetic conversion system”. Tesis para optar el título de Ingeniero Mecánico. Universita degli studi di Paova. Italia.2011. 80 p.
- **RANGEL TIRADO, Pamela.** “Simulación de la secuencia de arranque de una Central Termoeléctrica de 350 MW”. Tesis para optar el título de Ingeniero de control y automatización. Instituto Politécnico nacional de Mexico.2009. 197 p.



# **ANEXOS**

ANEXO N°1 CUADROS DE COMPORTAMIENTO CON 50 HORAS DE ARRANQUE

Cuadro N° 1-A : Anualidad del Costo Variable de Mantenimiento para un escenario de 0 horas de operación y 50 Horas de arranque

FLUJOS DE CATEGORIAS Y COSTOS DE MANTENIMIENTO CASO : 0 HORAS DE OPERACIÓN ANUAL												
N°	AÑO	HORAS DE OPERACIÓN		HORAS EQUIVAL.DE OPERACIÓN		M4000	M8000	M16000	M48000	TOTAL	VALOR	
						33,853	152,063	485,490	570,052	U\$	PRESENTE(U\$)	
1	2,011	0	0	0	0					0	0	
2	2,012	0	0	0	0					0	0	
3	2,013	0	0	0	0					0	0	
4	2,014	0	0	0	0					0	0	
5	2,015	0	0	0	0					0	0	
6	2,016	0	0	0	0					0	0	
7	2,017	0	0	0	0					0	0	
8	2,018	0	0	0	0					0	0	
9	2,019	0	0	0	0					0	0	
10	2,020	0	0	0	0					0	0	
11	2,021	0	0	0	0					0	0	
12	2,022	0	0	0	0					0	0	
13	2,023	0	0	0	0					0	0	
14	2,024	0	0	0	0					0	0	
15	2,025	0	0	0	0					0	0	
16	2,026	0	0	0	0					0	0	
17	2,027	0	0	0	0					0	0	
18	2,028	0	0	0	0					0	0	
19	2,029	0	0	0	0					0	0	
20	2,030	0	0	0	0					0	0	
										VALOR PRESENTE TOTAL(U\$)		0
										ANUALIDAD (U\$)		0

Cuadro N° 1-B Anualidad del Costo Variable de Mantenimiento para un escenario de 1,000 horas de operación y 50 horas de arranque

FLUJOS DE CATEGORIAS Y COSTOS DE MANTENIMIENTO CASO : 1,000 HORAS DE OPERACIÓN ANUAL-50 ARRANQUES												
N°	AÑO	HORAS DE OPERACIÓN		HORAS EQUIVAL.DE OPERACIÓN		M4000	M8000	M16000	M48000	TOTAL	VALOR	
						33,853	152,063	485,490	570,052	U\$	PRESENTE(U\$)	
1	2,011	0	1,000	0	2,000					0.00	0.00	
2	2,012	1,000	2,000	2,000	4,000	1				33,853.00	26,987.40	
3	2,013	2,000	3,000	4,000	6,000					0.00	0.00	
4	2,014	3,000	4,000	6,000	8,000		1			152,063.00	96,638.79	
5	2,015	4,000	5,000	8,000	10,000					0.00	0.00	
6	2,016	5,000	6,000	10,000	12,000	1				33,853.00	17,150.98	
7	2,017	6,000	7,000	12,000	14,000				1	570,052.00	257,862.57	
8	2,018	7,000	8,000	14,000	16,000			1		485,490.00	196,081.27	
9	2,019	8,000	9,000	16,000	18,000					0.00	0.00	
10	2,020	9,000	10,000	18,000	20,000	1				33,853.00	10,899.76	
11	2,021	10,000	11,000	20,000	22,000					0.00	0.00	
12	2,022	11,000	12,000	22,000	24,000		1			152,063.00	39,030.78	
13	2,023	12,000	13,000	24,000	26,000					0.00	0.00	
14	2,024	13,000	14,000	26,000	28,000	1				33,853.00	6,926.99	
15	2,025	14,000	15,000	28,000	30,000					0.00	0.00	
16	2,026	15,000	16,000	30,000	32,000			1		485,490.00	79,193.94	
17	2,027	16,000	17,000	32,000	34,000					0.00	0.00	
18	2,028	17,000	18,000	34,000	36,000		1			152,063.00	19,774.21	
19	2,029	18,000	19,000	36,000	38,000					0.00	0.00	
20	2,030	19,000	20,000	38,000	40,000		1			152,063.00	15,763.88	
										VALOR PRESENTE TOTAL(U\$)		766,310.58
										ANUALIDAD (U\$)		\$ 102,592.73

Cuadro N° 1-C Anualidad del Costo Variable de Mantenimiento para un escenario de 2,000 horas de operación y 50 horas de arranque

FLUJOS DE CATEGORIAS Y COSTOS DE MANTENIMIENTO CASO : 2.000 HORAS DE OPERACIÓN ANUAL-50 ARRANQUES											
N°	AÑO	HORAS DE OPERACIÓN		HORAS EQUIVAL.DE OPERACIÓN		M4000	M8000	M16000	M48000	TOTAL	VALOR
						33,853	152,063	485,490	570,052	U\$	PRESENTE(U\$)
1	2,011	0	2,000	0	3,000					0.00	0.00
2	2,012	2,000	4,000	3,000	6,000	1				33,853.00	26,987.40
3	2,013	4,000	4,250	6,000	9,000		1			152,063.00	108,235.44
4	2,014	4,250	4,500	9,000	12,000	1				33,853.00	21,514.19
5	2,015	4,500	4,750	12,000	15,000					0.00	0.00
6	2,016	4,750	5,000	15,000	18,000			1		485,490.00	245,964.34
7	2,017	5,000	5,250	18,000	21,000	1				33,853.00	15,313.38
8	2,018	5,250	5,500	21,000	24,000		1			152,063.00	61,415.70
9	2,019	5,500	5,750	24,000	27,000					0.00	0.00
10	2,020	5,750	6,000	27,000	30,000	1				33,853.00	10,899.76
11	2,021	6,000	6,250	30,000	33,000			1		485,490.00	139,566.77
12	2,022	6,250	6,500	33,000	36,000	1				33,853.00	8,689.22
13	2,023	6,500	6,750	36,000	39,000					0.00	0.00
14	2,024	6,750	7,000	39,000	42,000		1			152,063.00	31,115.10
15	2,025	7,000	7,250	42,000	45,000	1				33,853.00	6,184.82
16	2,026	7,250	7,500	45,000	48,000			1		570,052.00	92,987.83
17	2,027	7,500	7,750	48,000	51,000					0.00	0.00
18	2,028	7,750	8,000	51,000	54,000	1				33,853.00	4,402.23
19	2,029	8,000	8,250	54,000	57,000		1			152,063.00	17,655.54
20	2,030	8,250	8,500	57,000	60,000	1				33,853.00	3,509.43
VALOR PRESENTE TOTAL (U\$)											794,441.16
ANUALIDAD (U\$)											\$ 106,358.81

Cuadro N° 1-D Anualidad del Costo Variable de Mantenimiento para un escenario de 3,000 horas de operación y 50 horas de arranque.

FLUJOS DE CATEGORIAS Y COSTOS DE MANTENIMIENTO CASO : 3000 HORAS DE OPERACIÓN ANUAL-50 ARRANQUES											
N°	AÑO	HORAS DE OPERACIÓN		HORAS EQUIVAL.DE OPERACIÓN		M4000	M8000	M16000	M48000	TOTAL	VALOR
						33,853	152,063	485,490	570,052	U\$	PRESENTE(U\$)
1	2,011	0	3,000	0	4,000	1				33,853.00	30,225.89
2	2,012	3,000	6,000	4,000	8,000		1			152,063.00	121,223.69
3	2,013	6,000	9,000	8,000	12,000	1				33,853.00	24,095.90
4	2,014	9,000	12,000	12,000	16,000			1		485,490.00	308,537.67
5	2,015	12,000	15,000	16,000	20,000	1				33,853.00	19,209.10
6	2,016	15,000	18,000	20,000	24,000		1			152,063.00	77,039.85
7	2,017	18,000	21,000	24,000	28,000	1				33,853.00	15,313.38
8	2,018	21,000	24,000	28,000	32,000			1		485,490.00	196,081.27
9	2,019	24,000	27,000	32,000	36,000	1				33,853.00	12,207.73
10	2,020	27,000	30,000	36,000	40,000		1			152,063.00	48,960.22
11	2,021	30,000	33,000	40,000	44,000	1				33,853.00	9,731.93
12	2,022	33,000	36,000	44,000	48,000			1		570,052.00	146,318.15
13	2,023	36,000	39,000	48,000	52,000	1				33,853.00	7,758.23
14	2,024	39,000	42,000	52,000	56,000		1			152,063.00	31,115.10
15	2,025	42,000	45,000	56,000	60,000	1				33,853.00	6,184.82
16	2,026	45,000	48,000	60,000	64,000			1		485,490.00	79,193.94
17	2,027	48,000	51,000	64,000	68,000	1				33,853.00	4,930.50
18	2,028	51,000	54,000	68,000	72,000		1			152,063.00	19,774.21
19	2,029	54,000	57,000	72,000	76,000	1				33,853.00	3,930.56
20	2,030	57,000	60,000	76,000	80,000			1		485,490.00	50,329.18
VALOR PRESENTE TOTAL (U\$)											1,212,161.31
ANUALIDAD (U\$)											\$ 162,282.68

Cuadro N° 1-E Anualidad del Costo Variable de Mantenimiento para un escenario de 4,000 horas de operación y 50 horas de arranque

FLUJOS DE CATEGORIAS Y COSTOS DE MANTENIMIENTO CASO : 4,000 HORAS DE OPERACIÓN ANUAL-L-50 ARRANQUES											
N°	AÑO	HORAS DE OPERACIÓN		HORAS EQUIVAL.DE OPERACIÓN		M4000	M8000	M16000	M48000	TOTAL	VALOR
						33,853	152,063	485,490	570,052	US\$	PRESENTE(US\$)
1	2,011	0	4,000	0	5,000	1				33,853.00	30,225.89
2	2,012	4,000	8,000	5,000	10,000		1			152,063.00	121,223.69
3	2,013	8,000	12,000	10,000	15,000	1				33,853.00	24,095.90
4	2,014	12,000	16,000	15,000	20,000			1		485,490.00	308,537.67
5	2,015	16,000	20,000	20,000	25,000		1			152,063.00	86,284.63
6	2,016	20,000	24,000	25,000	30,000	1				33,853.00	17,150.98
7	2,017	24,000	28,000	30,000	35,000		1			152,063.00	68,785.58
8	2,018	28,000	32,000	35,000	40,000		1			152,063.00	61,415.70
9	2,019	32,000	36,000	40,000	45,000	1				33,853.00	12,207.73
10	2,020	36,000	40,000	45,000	50,000				1	570,052.00	183,541.49
11	2,021	40,000	44,000	50,000	55,000	1				33,853.00	9,731.93
12	2,022	44,000	48,000	55,000	60,000		1			152,063.00	39,030.78
13	2,023	48,000	52,000	60,000	65,000			1		485,490.00	111,261.78
14	2,024	52,000	56,000	65,000	70,000	1				33,853.00	6,926.99
15	2,025	56,000	60,000	70,000	75,000		1			152,063.00	27,781.34
16	2,026	60,000	64,000	75,000	80,000			1		485,490.00	79,193.94
17	2,027	64,000	68,000	80,000	85,000	1				33,853.00	4,930.50
18	2,028	68,000	72,000	85,000	90,000		1			152,063.00	19,774.21
19	2,029	72,000	76,000	90,000	95,000	1				33,853.00	3,930.56
20	2,030	76,000	80,000	95,000	100,000				1	570,052.00	59,095.45
VALOR PRESENTE TOTAL (US\$)										1,275,126.74	
ANUALIDAD (US\$)											\$ 170,712.41

Cuadro N° 1-F Anualidad del Costo Variable de Mantenimiento para un escenario de 5,000 horas de operación y 50 horas de arranque

FLUJOS DE CATEGORIAS Y COSTOS DE MANTENIMIENTO CASO : 5,000 HORAS DE OPERACIÓN ANUAL-L-50 ARRANQUES											
N°	AÑO	HORAS DE OPERACIÓN		HORAS EQUIVAL.DE OPERACIÓN		M4000	M8000	M16000	M48000	TOTAL	VALOR
						33,853	152,063	485,490	570,052	US\$	PRESENTE(US\$)
1	2,011	0	5,000	0	6,000	1				33,853.00	30,225.89
2	2,012	5,000	10,000	6,000	12,000		1			152,063.00	121,223.69
3	2,013	10,000	15,000	12,000	18,000			1		485,490.00	345,562.19
4	2,014	15,000	20,000	18,000	24,000		1			152,063.00	96,638.79
5	2,015	20,000	25,000	24,000	30,000	1				33,853.00	19,209.10
6	2,016	25,000	30,000	30,000	36,000			1		485,490.00	245,964.34
7	2,017	30,000	35,000	36,000	42,000		1			152,063.00	68,785.58
8	2,018	35,000	40,000	42,000	48,000				1	570,052.00	230,234.44
9	2,019	40,000	45,000	48,000	54,000	1				33,853.00	12,207.73
10	2,020	45,000	50,000	54,000	60,000		1			152,063.00	48,960.22
11	2,021	50,000	55,000	60,000	66,000			1		485,490.00	139,566.77
12	2,022	55,000	60,000	66,000	72,000		1			152,063.00	39,030.78
13	2,023	60,000	65,000	72,000	78,000	1				33,853.00	7,758.23
14	2,024	65,000	70,000	78,000	84,000			1		485,490.00	99,340.87
15	2,025	70,000	75,000	84,000	90,000		1			152,063.00	27,781.34
16	2,026	75,000	80,000	90,000	96,000				1	570,052.00	92,987.83
17	2,027	80,000	85,000	96,000	102,000	1				33,853.00	4,930.50
18	2,028	85,000	90,000	102,000	108,000		1			152,063.00	19,774.21
19	2,029	90,000	95,000	108,000	114,000			1		485,490.00	56,368.68
20	2,030	95,000	100,000	114,000	120,000			1		152,063.00	15,763.88
VALOR PRESENTE TOTAL (US\$)										1,722,315.08	
ANUALIDAD (US\$)											\$ 230,581.44

Cuadro N° 1-G Anualidad del Costo Variable de Mantenimiento para un escenario de 6,000 horas de operación y 50 horas de arranque

FLUJOS DE CATEGORÍAS Y COSTOS DE MANTENIMIENTO CASO : 6,000 HORAS DE OPERACIÓN ANUAL-50 ARRANQUES											
N°	AÑO	HORAS DE OPERACIÓN		HORAS EQUIVALE DE OPERACIÓN		M4000	M8000	M16000	M48000	TOTAL	VALOR
						33853	152063	485490	570052	U\$	PRESENTE(US)
1	2,011	0	6,000	0	7,000		1			152,063.00	135,770.54
2	2,012	6,000	12,000	7,000	14,000			1		485,490.00	387,029.66
3	2,013	12,000	18,000	14,000	21,000			1		152,063.00	108,235.44
4	2,014	18,000	24,000	21,000	28,000				1	485,490.00	308,537.67
5	2,015	24,000	30,000	28,000	35,000		1			152,063.00	86,284.63
6	2,016	30,000	36,000	35,000	42,000				1	570,052.00	288,806.08
7	2,017	36,000	42,000	42,000	49,000		1			152,063.00	68,785.58
8	2,018	42,000	48,000	49,000	56,000			1		485,490.00	196,081.27
9	2,019	48,000	54,000	56,000	63,000		1			152,063.00	54,835.44
10	2,020	54,000	60,000	63,000	70,000				1	485,490.00	156,314.79
11	2,021	60,000	66,000	70,000	77,000		1			152,063.00	43,714.48
12	2,022	66,000	72,000	77,000	84,000				1	570,052.00	146,318.15
13	2,023	72,000	78,000	84,000	91,000		1			152,063.00	34,848.91
14	2,024	78,000	84,000	91,000	98,000			1		485,490.00	99,340.87
15	2,025	84,000	90,000	98,000	105,000		1			152,063.00	27,781.34
16	2,026	90,000	96,000	105,000	112,000			1		485,490.00	79,193.94
17	2,027	96,000	102,000	112,000	119,000		1			152,063.00	22,147.12
18	2,028	102,000	108,000	119,000	126,000				1	570,052.00	74,129.33
19	2,029	108,000	114,000	126,000	133,000		1			152,063.00	17,655.54
20	2,030	114,000	120,000	133,000	140,000			1		485,490.00	50,329.18
VALOR PRESENTE TOTAL (U\$)										2,386,139.95	
ANUALIDAD (U\$)										\$ 319,453.51	

Cuadro N° 1-H Anualidad del Costo Variable de Mantenimiento para un escenario de 7,000 horas de operación y 50 horas de arranque

FLUJOS DE CATEGORÍAS Y COSTOS DE MANTENIMIENTO CASO : 7,000 HORAS DE OPERACIÓN ANUAL-L-50 ARRANQUES											
N°	AÑO	HORAS DE OPERACIÓN		HORAS EQUIVALE DE OPERACIÓN		M4000	M8000	M16000	M48000	TOTAL	VALOR
						33,853	152,063	485,490	570,052	U\$	PRESENTE(US)
1	2,011	0	7,000	0	8,000		1			152,063.00	135,770.54
2	2,012	7,000	14,000	8,000	16,000			1		485,490.00	387,029.66
3	2,013	14,000	21,000	16,000	24,000		1			152,063.00	108,235.44
4	2,014	21,000	28,000	24,000	32,000			1		485,490.00	308,537.67
5	2,015	28,000	35,000	32,000	40,000		1			152,063.00	86,284.63
6	2,016	35,000	42,000	40,000	48,000				1	570,052.00	288,806.08
7	2,017	42,000	49,000	48,000	56,000		1			152,063.00	68,785.58
8	2,018	49,000	56,000	56,000	64,000			1		485,490.00	196,081.27
9	2,019	56,000	63,000	64,000	72,000		1			152,063.00	54,835.44
10	2,020	63,000	70,000	72,000	80,000			1		485,490.00	156,314.79
11	2,021	70,000	77,000	80,000	88,000		1			152,063.00	43,714.48
12	2,022	77,000	84,000	88,000	96,000				1	570,052.00	146,318.15
13	2,023	84,000	91,000	96,000	104,000		1			152,063.00	34,848.91
14	2,024	91,000	98,000	104,000	112,000			1		485,490.00	99,340.87
15	2,025	98,000	105,000	112,000	120,000		1			152,063.00	27,781.34
16	2,026	105,000	112,000	120,000	128,000			1		485,490.00	79,193.94
17	2,027	112,000	119,000	128,000	136,000		1			152,063.00	22,147.12
18	2,028	119,000	126,000	136,000	144,000				1	570,052.00	74,129.33
19	2,029	126,000	133,000	144,000	152,000		1			152,063.00	17,655.54
20	2,030	133,000	140,000	152,000	160,000			1		485,490.00	50,329.18
VALOR PRESENTE TOTAL (U\$)										2,386,139.95	
ANUALIDAD (U\$)										\$ 319,453.51	

Cuadro N° 1-I Anualidad del Costo Variable de Mantenimiento para un escenario de 8,000 horas de operación y 50 horas de arranque

FLUJOS DE CATEGORIAS Y COSTOS DE MANTENIMIENTO CASO : 8,000 HORAS DE OPERACIÓN ANUAL-L-50 ARRANQUES											
N°	AÑO	HORAS DE OPERACIÓN		HORAS EQUIVALENTE DE OPERACIÓN		M4000	M8000	M16000	M48000	TOTAL	VALOR
						33,853	152,063	485,490	570,052	US\$	PRESENTE(US\$)
1	2,011	0	8,000	0	9,000		1			152,063.00	135,770.54
2	2,012	8,000	16,000	9,000	18,000			1		485,490.00	387,029.66
3	2,013	16,000	24,000	18,000	27,000		1			152,063.00	108,235.44
4	2,014	24,000	32,000	27,000	36,000			1		485,490.00	308,537.67
5	2,015	32,000	40,000	36,000	45,000		1			152,063.00	86,284.63
6	2,016	40,000	48,000	45,000	54,000				1	570,052.00	288,806.08
7	2,017	48,000	56,000	54,000	63,000		1			152,063.00	68,785.58
8	2,018	56,000	64,000	63,000	72,000			1		485,490.00	196,081.27
9	2,019	64,000	72,000	72,000	81,000			1		485,490.00	175,072.56
10	2,020	72,000	80,000	81,000	90,000		1			152,063.00	48,960.22
11	2,021	80,000	88,000	90,000	99,000				1	570,052.00	163,876.33
12	2,022	88,000	96,000	99,000	108,000		1			152,063.00	39,030.78
13	2,023	96,000	104,000	108,000	117,000			1		485,490.00	111,261.78
14	2,024	104,000	112,000	117,000	126,000		1			152,063.00	31,115.10
15	2,025	112,000	120,000	126,000	135,000			1		485,490.00	88,697.21
16	2,026	120,000	128,000	135,000	144,000				1	570,052.00	92,987.83
17	2,027	128,000	136,000	144,000	153,000		1			152,063.00	22,147.12
18	2,028	136,000	144,000	153,000	162,000			1		485,490.00	63,132.92
19	2,029	144,000	152,000	162,000	171,000		1			152,063.00	17,655.54
20	2,030	152,000	160,000	171,000	180,000			1		485,490.00	50,329.18
VALOR PRESENTE TOTAL (US\$)										2,483,797.43	
ANUALIDAD (US\$)										\$ 332,527.77	

ANEXO N°2 CUADROS DE COMPORTAMIENTO CON 100 HORAS DE ARRANQUE

Cuadro N° 2-A : Anualidad del Costo Variable de Mantenimiento para un escenario de 0 horas de operación y 100 Horas de arranque

FLUJOS DE CATEGORIAS Y COSTOS DE MANTENIMIENTO CASO : 0 HORAS DE OPERACIÓN ANUAL												
N°	AÑO	HORAS DE OPERACIÓN		HORAS EQUIVAL.DE OPERACIÓN		M4000	M8000	M16000	M48000	TOTAL	VALOR	
						33,853	152,063	485,490	570,052	U\$	PRESENTE(U\$)	
1	2,011	0		0		0				0		0
2	2,012	0		0		0				0		0
3	2,013	0		0		0				0		0
4	2,014	0		0		0				0		0
5	2,015	0		0		0				0		0
6	2,016	0		0		0				0		0
7	2,017	0		0		0				0		0
8	2,018	0		0		0				0		0
9	2,019	0		0		0				0		0
10	2,020	0		0		0				0		0
11	2,021	0		0		0				0		0
12	2,022	0		0		0				0		0
13	2,023	0		0		0				0		0
14	2,024	0		0		0				0		0
15	2,025	0		0		0				0		0
16	2,026	0		0		0				0		0
17	2,027	0		0		0				0		0
18	2,028	0		0		0				0		0
19	2,029	0		0		0				0		0
20	2,030	0		0		0				0		0
VALOR PRESENTE TOTAL(U\$)											0	
ANUALIDAD (U\$)											0	

Cuadro N° 2-B Anualidad del Costo Variable de Mantenimiento para un escenario de 1,000 horas de operación y 100 horas de arranque

FLUJOS DE CATEGORIAS Y COSTOS DE MANTENIMIENTO CASO : 1,000 HORAS DE OPERACIÓN ANUAL-100 HORAS DE ARRANQUE												
N°	AÑO	HORAS DE OPERACIÓN		HORAS EQUIVAL.DE OPERACIÓN		M4000	M8000	M16000	M48000	TOTAL	VALOR	
						33,853	152,063	485,490	570,052	U\$	PRESENTE(U\$)	
1	2,011	0	1,000	0	3,000	1				33,853.00		30,225.89
2	2,012	1,000	2,000	3,000	6,000	1				33,853.00		26,987.40
3	2,013	2,000	3,000	6,000	9,000		1			152,063.00		108,235.44
4	2,014	3,000	4,000	9,000	12,000	1				33,853.00		21,514.19
5	2,015	4,000	5,000	12,000	15,000	1				33,853.00		19,209.10
6	2,016	5,000	6,000	15,000	18,000			1		485,490.00		245,964.34
7	2,017	6,000	7,000	18,000	21,000	1			1	603,905.00		273,175.95
8	2,018	7,000	8,000	21,000	24,000		1			152,063.00		61,415.70
9	2,019	8,000	9,000	24,000	27,000					0.00		0.00
10	2,020	9,000	10,000	27,000	30,000	1				33,853.00		10,899.76
11	2,021	10,000	11,000	30,000	33,000		1			152,063.00		43,714.48
12	2,022	11,000	12,000	33,000	36,000	1				33,853.00		8,689.22
13	2,023	12,000	13,000	36,000	39,000					0.00		0.00
14	2,024	13,000	14,000	39,000	42,000		1			152,063.00		31,115.10
15	2,025	14,000	15,000	42,000	45,000	1				33,853.00		6,184.82
16	2,026	15,000	16,000	45,000	48,000				1	570,052.00		92,987.83
17	2,027	16,000	17,000	48,000	51,000					0.00		0.00
18	2,028	17,000	18,000	51,000	54,000	1				33,853.00		4,402.23
19	2,029	18,000	19,000	54,000	57,000		1			152,063.00		17,655.54
20	2,030	19,000	20,000	57,000	60,000	1				33,853.00		3,509.43
VALOR PRESENTE TOTAL(U\$)											1,005,886.44	
ANUALIDAD (U\$)											\$ 134,666.85	

Cuadro N° 2-C Anualidad del Costo Variable de Mantenimiento para un escenario de 2,000 horas de operación y 100 horas de arranque

FLUJOS DE CATEGORIAS Y COSTOS DE MANTENIMIENTO CASO : 2,000 HORAS DE OPERACIÓN ANUAL-100 HORAS DE ARRANQUE											
N°	AÑO	HORAS DE OPERACIÓN		HORAS EQUIVAL.DE OPERACIÓN		M4000	M8000	M16000	M48000	TOTAL	VALOR
						33,853	152,063	485,490	570,052	US\$	PRESENTE(US\$)
1	2,011	0	2,000	0	4,000	1				33,853.00	30,225.89
2	2,012	2,000	4,000	4,000	8,000		1			152,063.00	121,223.69
3	2,013	4,000	4,250	8,000	12,000	1				33,853.00	24,095.90
4	2,014	4,250	4,500	12,000	16,000			1		485,490.00	308,537.67
5	2,015	4,500	4,750	16,000	20,000	1				33,853.00	19,209.10
6	2,016	4,750	5,000	20,000	24,000		1			152,063.00	77,039.85
7	2,017	5,000	5,250	24,000	28,000	1				33,853.00	15,313.38
8	2,018	5,250	5,500	28,000	32,000			1		485,490.00	196,081.27
9	2,019	5,500	5,750	32,000	36,000	1				33,853.00	12,207.73
10	2,020	5,750	6,000	36,000	40,000		1			152,063.00	48,960.22
11	2,021	6,000	6,250	40,000	44,000	1				33,853.00	9,731.93
12	2,022	6,250	6,500	44,000	48,000				1	570,052.00	146,318.15
13	2,023	6,500	6,750	48,000	52,000	1				33,853.00	7,758.23
14	2,024	6,750	7,000	52,000	56,000		1			152,063.00	31,115.10
15	2,025	7,000	7,250	56,000	60,000	1				33,853.00	6,184.82
16	2,026	7,250	7,500	60,000	64,000			1		485,490.00	79,193.94
17	2,027	7,500	7,750	64,000	68,000	1				33,853.00	4,930.50
18	2,028	7,750	8,000	68,000	72,000		1			152,063.00	19,774.21
19	2,029	8,000	8,250	72,000	76,000	1				33,853.00	3,930.56
20	2,030	8,250	8,500	76,000	80,000			1		485,490.00	50,329.18
										VALOR PRESENTE TOTAL (US\$)	1,212,161.31
										ANUALIDAD (US\$)	\$ 162,282.68

Cuadro N° 2-D Anualidad del Costo Variable de Mantenimiento para un escenario de 3,000 horas de operación y 100 horas de arranque.

FLUJOS DE CATEGORIAS Y COSTOS DE MANTENIMIENTO CASO : 3000 HORAS DE OPERACIÓN ANUAL-100 HORAS DE ARRANQUE											
N°	AÑO	HORAS DE OPERACIÓN		HORAS EQUIVAL.DE OPERACIÓN		M4000	M8000	M16000	M48000	TOTAL	VALOR
						33,853	152,063	485,490	570,052	US\$	PRESENTE(US\$)
1	2,011	0	3,000	0	5,000	1				33,853.00	30,225.89
2	2,012	3,000	6,000	5,000	10,000		1			152,063.00	121,223.69
3	2,013	6,000	9,000	10,000	15,000	1				33,853.00	24,095.90
4	2,014	9,000	12,000	15,000	20,000			1		485,490.00	308,537.67
5	2,015	12,000	15,000	20,000	25,000		1			152,063.00	86,284.63
6	2,016	15,000	18,000	25,000	30,000	1				33,853.00	17,150.98
7	2,017	18,000	21,000	30,000	35,000			1		485,490.00	219,611.02
8	2,018	21,000	24,000	35,000	40,000		1			152,063.00	61,415.70
9	2,019	24,000	27,000	40,000	45,000	1				33,853.00	12,207.73
10	2,020	27,000	30,000	45,000	50,000				1	570,052.00	183,541.49
11	2,021	30,000	33,000	50,000	55,000	1				33,853.00	9,731.93
12	2,022	33,000	36,000	55,000	60,000		1			152,063.00	39,030.78
13	2,023	36,000	39,000	60,000	65,000			1		485,490.00	111,261.78
14	2,024	39,000	42,000	65,000	70,000	1				33,853.00	6,926.99
15	2,025	42,000	45,000	70,000	75,000		1			152,063.00	27,781.34
16	2,026	45,000	48,000	75,000	80,000			1		485,490.00	79,193.94
17	2,027	48,000	51,000	80,000	85,000	1				33,853.00	4,930.50
18	2,028	51,000	54,000	85,000	90,000		1			152,063.00	19,774.21
19	2,029	54,000	57,000	90,000	95,000	1				33,853.00	3,930.56
20	2,030	57,000	60,000	95,000	100,000				1	570,052.00	59,095.45
										VALOR PRESENTE TOTAL (US\$)	1,425,952.18
										ANUALIDAD (US\$)	\$ 190,904.74



Cuadro N° 2-E Anualidad del Costo Variable de Mantenimiento para un escenario de 4,000 horas de operación y 100 horas de arranque

FLUJOS DE CATEGORIAS Y COSTOS DE MANTENIMIENTO CASO : 4,000 HORAS DE OPERACIÓN ANUAL-100 HORAS DE ARRANQUE												
N°	AÑO	HORAS DE OPERACIÓN		HORAS EQUIVAL.DE OPERACIÓN		M4000	M8000	M16000	M48000	TOTAL	VALOR	
						33,853	152,063	485,490	570,052	US\$	PRESENTE(US\$)	
1	2,011	0	4,000	0	6,000	1				33,853.00	30,225.89	
2	2,012	4,000	8,000	6,000	12,000		1			152,063.00	121,223.69	
3	2,013	8,000	12,000	12,000	18,000			1		485,490.00	345,562.19	
4	2,014	12,000	16,000	18,000	24,000		1			152,063.00	96,638.79	
5	2,015	16,000	20,000	24,000	30,000	1				33,853.00	19,209.10	
6	2,016	20,000	24,000	30,000	36,000			1		485,490.00	245,964.34	
7	2,017	24,000	28,000	36,000	42,000		1			152,063.00	68,785.58	
8	2,018	28,000	32,000	42,000	48,000				1	570,052.00	230,234.44	
9	2,019	32,000	36,000	48,000	54,000	1				33,853.00	12,207.73	
10	2,020	36,000	40,000	54,000	60,000		1			152,063.00	48,960.22	
11	2,021	40,000	44,000	60,000	66,000			1		485,490.00	139,566.77	
12	2,022	44,000	48,000	66,000	72,000		1			152,063.00	39,030.78	
13	2,023	48,000	52,000	72,000	78,000	1				33,853.00	7,758.23	
14	2,024	52,000	56,000	78,000	84,000			1		485,490.00	99,340.87	
15	2,025	56,000	60,000	84,000	90,000		1			152,063.00	27,781.34	
16	2,026	60,000	64,000	90,000	96,000				1	570,052.00	92,987.83	
17	2,027	64,000	68,000	96,000	102,000	1				33,853.00	4,930.50	
18	2,028	68,000	72,000	102,000	108,000		1			152,063.00	19,774.21	
19	2,029	72,000	76,000	108,000	114,000			1		485,490.00	56,368.68	
20	2,030	76,000	80,000	114,000	120,000		1			152,063.00	15,763.88	
VALOR PRESENTE TOTAL (US\$)											1,722,315.08	
ANUALIDAD (US\$)											\$ 230,581.44	

Cuadro N° 2-F Anualidad del Costo Variable de Mantenimiento para un escenario de 5,000 horas de operación y 100 horas de arranque

FLUJOS DE CATEGORIAS Y COSTOS DE MANTENIMIENTO CASO : 5,000 HORAS DE OPERACIÓN ANUAL-100 HORAS DE ARRANQUE												
N°	AÑO	HORAS DE OPERACIÓN		HORAS EQUIVAL.DE OPERACIÓN		M4000	M8000	M16000	M48000	TOTAL	VALOR	
						33,853	152,063	485,490	570,052	US\$	PRESENTE(US\$)	
1	2,011	0	5,000	0	7,000	1				33,853.00	30,225.89	
2	2,012	5,000	10,000	7,000	14,000		1			152,063.00	121,223.69	
3	2,013	10,000	15,000	14,000	21,000			1		485,490.00	345,562.19	
4	2,014	15,000	20,000	21,000	28,000		1			152,063.00	96,638.79	
5	2,015	20,000	25,000	28,000	35,000			1		485,490.00	275,480.06	
6	2,016	25,000	30,000	35,000	42,000		1			152,063.00	77,039.85	
7	2,017	30,000	35,000	42,000	49,000				1	570,052.00	257,862.57	
8	2,018	35,000	40,000	49,000	56,000		1			152,063.00	61,415.70	
9	2,019	40,000	45,000	56,000	63,000	1				33,853.00	12,207.73	
10	2,020	45,000	50,000	63,000	70,000			1		485,490.00	156,314.79	
11	2,021	50,000	55,000	70,000	77,000		1			152,063.00	43,714.48	
12	2,022	55,000	60,000	77,000	84,000			1		485,490.00	124,613.19	
13	2,023	60,000	65,000	84,000	91,000		1			152,063.00	34,848.91	
14	2,024	65,000	70,000	91,000	98,000				1	570,052.00	116,643.93	
15	2,025	70,000	75,000	98,000	105,000		1			152,063.00	27,781.34	
16	2,026	75,000	80,000	105,000	112,000			1		485,490.00	79,193.94	
17	2,027	80,000	85,000	112,000	119,000	1				33,853.00	4,930.50	
18	2,028	85,000	90,000	119,000	126,000		1			152,063.00	19,774.21	
19	2,029	90,000	95,000	126,000	133,000			1		485,490.00	56,368.68	
20	2,030	95,000	100,000	133,000	140,000		1			152,063.00	15,763.88	
VALOR PRESENTE TOTAL (US\$)											1,957,604.33	
ANUALIDAD (US\$)											\$ 262,081.68	

Cuadro N° 2-G Anualidad del Costo Variable de Mantenimiento para un escenario de 6,000 horas de operación y 100 horas de arranque

FLUJOS DE CATEGORIAS Y COSTOS DE MANTENIMIENTO CASO : 6,000 HORAS DE OPERACIÓN ANUAL-100 HORAS DE ARRANQUE											
N°	AÑO	HORAS DE OPERACIÓN		HORAS EQUIVAL.DE OPERACIÓN		M4000	M8000	M16000	M48000	TOTAL	VALOR
						33853	152063	485490	570052	U\$	PRESENTE(U\$)
1	2,011	0	6,000	0	8,000		1			152,063.00	135,770.54
2	2,012	6,000	12,000	8,000	16,000			1		485,490.00	387,029.66
3	2,013	12,000	18,000	16,000	24,000		1			152,063.00	108,235.44
4	2,014	18,000	24,000	24,000	32,000			1		485,490.00	308,537.67
5	2,015	24,000	30,000	32,000	40,000		1			152,063.00	86,284.63
6	2,016	30,000	36,000	40,000	48,000			1		570,052.00	288,806.08
7	2,017	36,000	42,000	48,000	56,000		1			152,063.00	68,785.58
8	2,018	42,000	48,000	56,000	64,000			1		485,490.00	196,081.27
9	2,019	48,000	54,000	64,000	72,000		1			152,063.00	54,835.44
10	2,020	54,000	60,000	72,000	80,000			1		485,490.00	156,314.79
11	2,021	60,000	66,000	80,000	88,000		1			152,063.00	43,714.48
12	2,022	66,000	72,000	88,000	96,000			1		570,052.00	146,318.15
13	2,023	72,000	78,000	96,000	104,000		1			152,063.00	34,848.91
14	2,024	78,000	84,000	104,000	112,000			1		485,490.00	99,340.87
15	2,025	84,000	90,000	112,000	120,000		1			152,063.00	27,781.34
16	2,026	90,000	96,000	120,000	128,000			1		485,490.00	79,193.94
17	2,027	96,000	102,000	128,000	136,000		1			152,063.00	22,147.12
18	2,028	102,000	108,000	136,000	144,000			1		570,052.00	74,129.33
19	2,029	108,000	114,000	144,000	152,000		1			152,063.00	17,655.54
20	2,030	114,000	120,000	152,000	160,000			1		485,490.00	50,329.18
VALOR PRESENTE TOTAL (U\$)										2,386,139.95	
ANUALIDAD (U\$)										\$ 319,453.51	

Cuadro N° 2-H Anualidad del Costo Variable de Mantenimiento para un escenario de 7,000 horas de operación y 100 horas de arranque

FLUJOS DE CATEGORIAS Y COSTOS DE MANTENIMIENTO CASO : 7,000 HORAS DE OPERACIÓN ANUAL-100 HORAS DE ARRANQUE											
N°	AÑO	HORAS DE OPERACIÓN		HORAS EQUIVAL.DE OPERACIÓN		M4000	M8000	M16000	M48000	TOTAL	VALOR
						33,853	152,063	485,490	570,052	U\$	PRESENTE(U\$)
1	2,011	0	7,000	0	9,000		1			152,063.00	135,770.54
2	2,012	7,000	14,000	9,000	18,000			1		485,490.00	387,029.66
3	2,013	14,000	21,000	18,000	27,000		1			152,063.00	108,235.44
4	2,014	21,000	28,000	27,000	36,000			1		485,490.00	308,537.67
5	2,015	28,000	35,000	36,000	45,000		1			152,063.00	86,284.63
6	2,016	35,000	42,000	45,000	54,000			1		570,052.00	288,806.08
7	2,017	42,000	49,000	54,000	63,000		1			152,063.00	68,785.58
8	2,018	49,000	56,000	63,000	72,000			1		485,490.00	196,081.27
9	2,019	56,000	63,000	72,000	81,000		1			485,490.00	175,072.56
10	2,020	63,000	70,000	81,000	90,000		1			152,063.00	48,960.22
11	2,021	70,000	77,000	90,000	99,000			1		570,052.00	163,876.33
12	2,022	77,000	84,000	99,000	108,000		1			152,063.00	39,030.78
13	2,023	84,000	91,000	108,000	117,000			1		485,490.00	111,261.78
14	2,024	91,000	98,000	117,000	126,000		1			152,063.00	31,115.10
15	2,025	98,000	105,000	126,000	135,000			1		485,490.00	88,697.21
16	2,026	105,000	112,000	135,000	144,000			1		570,052.00	92,987.83
17	2,027	112,000	119,000	144,000	153,000		1			152,063.00	22,147.12
18	2,028	119,000	126,000	153,000	162,000			1		485,490.00	63,132.92
19	2,029	126,000	133,000	162,000	171,000		1			152,063.00	17,655.54
20	2,030	133,000	140,000	171,000	180,000			1		485,490.00	50,329.18
VALOR PRESENTE TOTAL (U\$)										2,483,797.43	
ANUALIDAD (U\$)										\$ 332,527.77	

Cuadro N° 2-I Anualidad del Costo Variable de Mantenimiento para un escenario de 8,000 horas de operación y 100 horas de arranque

FLUJOS DE CATEGORIAS Y COSTOS DE MANTENIMIENTO CASO : 8,000 HORAS DE OPERACIÓN ANUAL-100 HORAS DE ARRANQUE											
N°	AÑO	HORAS DE OPERACIÓN		HORAS EQUIVAL.DE OPERACIÓN		M4000	M8000	M16000	M48000	TOTAL	VALOR
						33,853	152,063	485,490	570,052	U\$	PRESENTE(U\$)
1	2,011	0	8,000	0	10,000		1			152,063.00	135,770.54
2	2,012	8,000	16,000	10,000	20,000			1		485,490.00	387,029.66
3	2,013	16,000	24,000	20,000	30,000			1		152,063.00	108,235.44
4	2,014	24,000	32,000	30,000	40,000			1		485,490.00	308,537.67
5	2,015	32,000	40,000	40,000	50,000				1	570,052.00	323,462.81
6	2,016	40,000	48,000	50,000	60,000		1			152,063.00	77,039.85
7	2,017	48,000	56,000	60,000	70,000			1		485,490.00	219,611.02
8	2,018	56,000	64,000	70,000	80,000			1		485,490.00	196,081.27
9	2,019	64,000	72,000	80,000	90,000		1			152,063.00	54,835.44
10	2,020	72,000	80,000	90,000	100,000				1	570,052.00	183,541.49
11	2,021	80,000	88,000	100,000	110,000		1			152,063.00	43,714.48
12	2,022	88,000	96,000	110,000	120,000			1		485,490.00	124,613.19
13	2,023	96,000	104,000	120,000	130,000			1		485,490.00	111,261.78
14	2,024	104,000	112,000	130,000	140,000		1			152,063.00	31,115.10
15	2,025	112,000	120,000	140,000	150,000				1	570,052.00	104,146.37
16	2,026	120,000	128,000	150,000	160,000			1		485,490.00	79,193.94
17	2,027	128,000	136,000	160,000	170,000		1			152,063.00	22,147.12
18	2,028	136,000	144,000	170,000	180,000			1		485,490.00	63,132.92
19	2,029	144,000	152,000	180,000	190,000		1			152,063.00	17,655.54
20	2,030	152,000	160,000	190,000	200,000				1	570,052.00	59,095.45
										VALOR PRESENTE TOTAL (U\$)	2,650,221.07
										ANUALIDAD (U\$)	\$ 354,808.36

ANEXO N°3 CUADROS DE COMPORTAMIENTO CON 300 HORAS DE ARRANQUE

Cuadro N° 3-A : Anualidad del Costo Variable de Mantenimiento para un escenario de 0 horas de operación y 300 Horas de arranque

FLUJOS DE CATEGORIAS Y COSTOS DE MANTENIMIENTO CASO : 0 HORAS DE OPERACIÓN ANUAL											
N°	AÑO	HORAS DE OPERACIÓN		HORAS EQUIVAL.DE OPERACIÓN		M4000	M8000	M16000	M48000	TOTAL	VALOR
						33,853	152,063	485,490	570,052	U\$	PRESENTE(U\$)
1	2,011	0	0	0	0					0	0
2	2,012	0	0	0	0					0	0
3	2,013	0	0	0	0					0	0
4	2,014	0	0	0	0					0	0
5	2,015	0	0	0	0					0	0
6	2,016	0	0	0	0					0	0
7	2,017	0	0	0	0					0	0
8	2,018	0	0	0	0					0	0
9	2,019	0	0	0	0					0	0
10	2,020	0	0	0	0					0	0
11	2,021	0	0	0	0					0	0
12	2,022	0	0	0	0					0	0
13	2,023	0	0	0	0					0	0
14	2,024	0	0	0	0					0	0
15	2,025	0	0	0	0					0	0
16	2,026	0	0	0	0					0	0
17	2,027	0	0	0	0					0	0
18	2,028	0	0	0	0					0	0
19	2,029	0	0	0	0					0	0
20	2,030	0	0	0	0					0	0
VALOR PRESENTE TOTAL(U\$)										0	0
ANUALIDAD (U\$)										0	0

Cuadro N° 3-B Anualidad del Costo Variable de Mantenimiento para un escenario de 1,000 horas de operación y 300 horas de arranque

FLUJOS DE CATEGORIAS Y COSTOS DE MANTENIMIENTO CASO : 1,000 HORAS DE OPERACIÓN ANUAL											
N°	AÑO	HORAS DE OPERACIÓN		HORAS EQUIVAL.DE OPERACIÓN		M4000	M8000	M16000	M48000	TOTAL	VALOR
						33,853	152,063	485,490	570,052	U\$	PRESENTE(U\$)
1	2,011	0	1,000	0	7,000	1				33,853.00	30,225.89
2	2,012	1,000	2,000	7,000	14,000		1			152,063.00	121,223.69
3	2,013	2,000	3,000	14,000	21,000			1		485,490.00	345,562.19
4	2,014	3,000	4,000	21,000	28,000		1			152,063.00	96,638.79
5	2,015	4,000	5,000	28,000	35,000			1		485,490.00	275,480.06
6	2,016	5,000	6,000	35,000	42,000		1			152,063.00	77,039.85
7	2,017	6,000	7,000	42,000	49,000			1		570,052.00	257,862.57
8	2,018	7,000	8,000	49,000	56,000		1			152,063.00	61,415.70
9	2,019	8,000	9,000	56,000	63,000	1				33,853.00	12,207.73
10	2,020	9,000	10,000	63,000	70,000			1		485,490.00	156,314.79
11	2,021	10,000	11,000	70,000	77,000		1			152,063.00	43,714.48
12	2,022	11,000	12,000	77,000	84,000			1		485,490.00	124,613.19
13	2,023	12,000	13,000	84,000	91,000		1			152,063.00	34,848.91
14	2,024	13,000	14,000	91,000	98,000				1	570,052.00	116,643.93
15	2,025	14,000	15,000	98,000	105,000		1			152,063.00	27,781.34
16	2,026	15,000	16,000	105,000	112,000			1		485,490.00	79,193.94
17	2,027	16,000	17,000	112,000	119,000	1				33,853.00	4,930.50
18	2,028	17,000	18,000	119,000	126,000		1			152,063.00	19,774.21
19	2,029	18,000	19,000	126,000	133,000			1		485,490.00	56,368.68
20	2,030	19,000	20,000	133,000	140,000		1			152,063.00	15,763.88
VALOR PRESENTE TOTAL(U\$)										1,957,604.33	
ANUALIDAD (U\$)											\$ 262,081.68

Cuadro N° 3-C Anualidad del Costo Variable de Mantenimiento para un escenario de 2,000 horas de operación y 300 horas de arranque

FLUJOS DE CATEGORIAS Y COSTOS DE MANTENIMIENTO CASO : 2,000 HORAS DE OPERACIÓN ANUAL											
N°	AÑO	HORAS DE OPERACIÓN		HORAS EQUIVAL.DE OPERACIÓN		M4000	M8000	M16000	M48000	TOTAL	VALOR
						33,853	152,063	485,490	570,052	U\$	PRESENTE(U\$)
1	2,011	0	2,000	0	8,000		1			152,063.00	135,770.54
2	2,012	2,000	4,000	8,000	16,000			1		485,490.00	387,029.66
3	2,013	4,000	4,250	16,000	24,000		1			152,063.00	108,235.44
4	2,014	4,250	4,500	24,000	32,000			1		485,490.00	308,537.67
5	2,015	4,500	4,750	32,000	40,000		1			152,063.00	86,284.63
6	2,016	4,750	5,000	40,000	48,000				1	570,052.00	288,806.08
7	2,017	5,000	5,250	48,000	56,000		1			152,063.00	68,785.58
8	2,018	5,250	5,500	56,000	64,000			1		485,490.00	196,081.27
9	2,019	5,500	5,750	64,000	72,000		1			152,063.00	54,835.44
10	2,020	5,750	6,000	72,000	80,000			1		485,490.00	156,314.79
11	2,021	6,000	6,250	80,000	88,000		1			152,063.00	43,714.48
12	2,022	6,250	6,500	88,000	96,000				1	570,052.00	146,318.15
13	2,023	6,500	6,750	96,000	104,000		1			152,063.00	34,848.91
14	2,024	6,750	7,000	104,000	112,000			1		485,490.00	99,340.87
15	2,025	7,000	7,250	112,000	120,000		1			152,063.00	27,781.34
16	2,026	7,250	7,500	120,000	128,000			1		485,490.00	79,193.94
17	2,027	7,500	7,750	128,000	136,000		1			152,063.00	22,147.12
18	2,028	7,750	8,000	136,000	144,000				1	570,052.00	74,129.33
19	2,029	8,000	8,250	144,000	152,000		1			152,063.00	17,655.54
20	2,030	8,250	8,500	152,000	160,000				1	570,052.00	59,095.45
										VALOR PRESENTE TOTAL (U\$)	2,394,906.22
										ANUALIDAD (U\$)	\$ 320,627.12

Cuadro N° 3-D Anualidad del Costo Variable de Mantenimiento para un escenario de 3,000 horas de operación y 300 horas de arranque.

FLUJOS DE CATEGORIAS Y COSTOS DE MANTENIMIENTO CASO : 3000 HORAS DE OPERACIÓN ANUAL											
N°	AÑO	HORAS DE OPERACIÓN		HORAS EQUIVAL.DE OPERACIÓN		M4000	M8000	M16000	M48000	TOTAL	VALOR
						33,853	152,063	485,490	570,052	U\$	PRESENTE(U\$)
1	2,011	0	3,000	0	9,000		1			152,063.00	135,770.54
2	2,012	3,000	6,000	9,000	18,000			1		485,490.00	387,029.66
3	2,013	6,000	9,000	18,000	27,000		1			152,063.00	108,235.44
4	2,014	9,000	12,000	27,000	36,000			1		485,490.00	308,537.67
5	2,015	12,000	15,000	36,000	45,000		1			152,063.00	86,284.63
6	2,016	15,000	18,000	45,000	54,000				1	570,052.00	288,806.08
7	2,017	18,000	21,000	54,000	63,000		1			152,063.00	68,785.58
8	2,018	21,000	24,000	63,000	72,000			1		485,490.00	196,081.27
9	2,019	24,000	27,000	72,000	81,000			1		485,490.00	175,072.56
10	2,020	27,000	30,000	81,000	90,000		1			152,063.00	48,960.22
11	2,021	30,000	33,000	90,000	99,000				1	570,052.00	163,876.33
12	2,022	33,000	36,000	99,000	108,000		1			152,063.00	39,030.78
13	2,023	36,000	39,000	108,000	117,000			1		485,490.00	111,261.78
14	2,024	39,000	42,000	117,000	126,000		1			152,063.00	31,115.10
15	2,025	42,000	45,000	126,000	135,000			1		485,490.00	88,697.21
16	2,026	45,000	48,000	135,000	144,000				1	570,052.00	92,987.83
17	2,027	48,000	51,000	144,000	153,000		1			152,063.00	22,147.12
18	2,028	51,000	54,000	153,000	162,000			1		485,490.00	63,132.92
19	2,029	54,000	57,000	162,000	171,000		1			152,063.00	17,655.54
20	2,030	57,000	60,000	171,000	180,000				1	485,490.00	50,329.18
										VALOR PRESENTE TOTAL (U\$)	2,483,797.43
										ANUALIDAD (U\$)	\$ 332,527.77

Cuadro N° 3-E Anualidad del Costo Variable de Mantenimiento para un escenario de 4,000 horas de operación y 300 horas de arranque

FLUJOS DE CATEGORIAS Y COSTOS DE MANTENIMIENTO CASO : 4,000 HORAS DE OPERACIÓN ANUAL												
N°	AÑO	HORAS DE OPERACIÓN		HORAS EQUIVAL.DE OPERACIÓN		M4000	M8000	M16000	M48000	TOTAL	VALOR	
						33,853	152,063	485,490	570,052	U\$	PRESENTE(U\$)	
1	2,011	0	4,000	0	10,000		1			152,063.00	135,770.54	
2	2,012	4,000	8,000	10,000	20,000			1		485,490.00	387,029.66	
3	2,013	8,000	12,000	20,000	30,000		1			152,063.00	108,235.44	
4	2,014	12,000	16,000	30,000	40,000			1		485,490.00	308,537.67	
5	2,015	16,000	20,000	40,000	50,000				1	570,052.00	323,462.81	
6	2,016	20,000	24,000	50,000	60,000		1			152,063.00	77,039.85	
7	2,017	24,000	28,000	60,000	70,000			1		485,490.00	219,611.02	
8	2,018	28,000	32,000	70,000	80,000			1		485,490.00	196,081.27	
9	2,019	32,000	36,000	80,000	90,000		1			152,063.00	54,835.44	
10	2,020	36,000	40,000	90,000	100,000				1	570,052.00	183,541.49	
11	2,021	40,000	44,000	100,000	110,000		1			152,063.00	43,714.48	
12	2,022	44,000	48,000	110,000	120,000			1		485,490.00	124,613.19	
13	2,023	48,000	52,000	120,000	130,000			1		485,490.00	111,261.78	
14	2,024	52,000	56,000	130,000	140,000		1			152,063.00	31,115.10	
15	2,025	56,000	60,000	140,000	150,000				1	570,052.00	104,146.37	
16	2,026	60,000	64,000	150,000	160,000			1		485,490.00	79,193.94	
17	2,027	64,000	68,000	160,000	170,000		1			152,063.00	22,147.12	
18	2,028	68,000	72,000	170,000	180,000			1		485,490.00	63,132.92	
19	2,029	72,000	76,000	180,000	190,000		1			152,063.00	17,655.54	
20	2,030	76,000	80,000	190,000	200,000				1	570,052.00	59,095.45	
										VALOR PRESENTE TOTAL (U\$)	2,650,221.07	
										ANUALIDAD (U\$)	\$ 354,808.36	

Cuadro N° 3-F Anualidad del Costo Variable de Mantenimiento para un escenario de 5,000 horas de operación y 300 horas de arranque

FLUJOS DE CATEGORIAS Y COSTOS DE MANTENIMIENTO CASO : 5,000 HORAS DE OPERACIÓN ANUAL												
N°	AÑO	HORAS DE OPERACIÓN		HORAS EQUIVAL.DE OPERACIÓN		M4000	M8000	M16000	M48000	TOTAL	VALOR	
						33,853	152,063	485,490	570,052	U\$	PRESENTE(U\$)	
1	2,011	0	5,000	0	11,000		1			152,063.00	135,770.54	
2	2,012	5,000	10,000	11,000	22,000			1		485,490.00	387,029.66	
3	2,013	10,000	15,000	22,000	33,000			1		485,490.00	345,562.19	
4	2,014	15,000	20,000	33,000	44,000		1			152,063.00	96,638.79	
5	2,015	20,000	25,000	44,000	55,000				1	570,052.00	323,462.81	
6	2,016	25,000	30,000	55,000	66,000			1		485,490.00	245,964.34	
7	2,017	30,000	35,000	66,000	77,000		1			152,063.00	68,785.58	
8	2,018	35,000	40,000	77,000	88,000			1		485,490.00	196,081.27	
9	2,019	40,000	45,000	88,000	99,000				1	570,052.00	205,566.47	
10	2,020	45,000	50,000	99,000	110,000		1			152,063.00	48,960.22	
11	2,021	50,000	55,000	110,000	121,000			1		485,490.00	139,566.77	
12	2,022	55,000	60,000	121,000	132,000				1	570,052.00	146,318.15	
13	2,023	60,000	65,000	132,000	143,000		1			152,063.00	34,848.91	
14	2,024	65,000	70,000	143,000	154,000			1		485,490.00	99,340.87	
15	2,025	70,000	75,000	154,000	165,000			1		485,490.00	88,697.21	
16	2,026	75,000	80,000	165,000	176,000			1		485,490.00	79,193.94	
17	2,027	80,000	85,000	176,000	187,000		1			152,063.00	22,147.12	
18	2,028	85,000	90,000	187,000	198,000				1	570,052.00	74,129.33	
19	2,029	90,000	95,000	198,000	209,000			1		485,490.00	56,368.68	
20	2,030	95,000	100,000	209,000	220,000		1			152,063.00	15,763.88	
										VALOR PRESENTE TOTAL (U\$)	2,810,196.71	
										ANUALIDAD (U\$)	\$ 376,225.71	

Cuadro N° 3-G Anualidad del Costo Variable de Mantenimiento para un escenario de 6,000 horas de operación y 300 horas de arranque

FLUJOS DE CATEGORIAS Y COSTOS DE MANTENIMIENTO CASO : 5,000 HORAS DE OPERACIÓN ANUAL											
N°	AÑO	HORAS DE OPERACIÓN		HORAS EQUIVAL.DE OPERACIÓN		M4000	M8000	M16000	M48000	TOTAL	VALOR
						33,853	152,063	485,490	570,052	U\$	PRESENTE(U\$)
1	2,011	0	5,000	0	11,000		1			152,063.00	135,770.54
2	2,012	5,000	10,000	11,000	22,000			1		485,490.00	387,029.66
3	2,013	10,000	15,000	22,000	33,000			1		485,490.00	345,562.19
4	2,014	15,000	20,000	33,000	44,000		1			152,063.00	96,638.79
5	2,015	20,000	25,000	44,000	55,000				1	570,052.00	323,462.81
6	2,016	25,000	30,000	55,000	66,000			1		485,490.00	245,964.34
7	2,017	30,000	35,000	66,000	77,000		1			152,063.00	68,785.58
8	2,018	35,000	40,000	77,000	88,000			1		485,490.00	196,081.27
9	2,019	40,000	45,000	88,000	99,000				1	570,052.00	205,566.47
10	2,020	45,000	50,000	99,000	110,000		1			152,063.00	48,960.22
11	2,021	50,000	55,000	110,000	121,000			1		485,490.00	139,566.77
12	2,022	55,000	60,000	121,000	132,000				1	570,052.00	146,318.15
13	2,023	60,000	65,000	132,000	143,000		1			152,063.00	34,848.91
14	2,024	65,000	70,000	143,000	154,000			1		485,490.00	99,340.87
15	2,025	70,000	75,000	154,000	165,000			1		485,490.00	88,697.21
16	2,026	75,000	80,000	165,000	176,000			1		485,490.00	79,193.94
17	2,027	80,000	85,000	176,000	187,000		1			152,063.00	22,147.12
18	2,028	85,000	90,000	187,000	198,000				1	570,052.00	74,129.33
19	2,029	90,000	95,000	198,000	209,000			1		485,490.00	56,368.68
20	2,030	95,000	100,000	209,000	220,000		1			152,063.00	15,763.88
VALOR PRESENTE TOTAL (U\$)										2,810,196.71	
ANUALIDAD (U\$)										\$ 376,225.71	

Cuadro N° 3-H Anualidad del Costo Variable de Mantenimiento para un escenario de 7,000 horas de operación y 300 horas de arranque

FLUJOS DE CATEGORIAS Y COSTOS DE MANTENIMIENTO CASO : 7,000 HORAS DE OPERACIÓN ANUAL											
N°	AÑO	HORAS DE OPERACIÓN		HORAS EQUIVAL.DE OPERACIÓN		M4000	M8000	M16000	M48000	TOTAL	VALOR
						33,853	152,063	485,490	570,052	U\$	PRESENTE(U\$)
1	2,011	0	7,000	0	13,000		1			152,063.00	135,770.54
2	2,012	7,000	14,000	13,000	26,000			1		485,490.00	387,029.66
3	2,013	14,000	21,000	26,000	39,000			1		485,490.00	345,562.19
4	2,014	21,000	28,000	39,000	52,000				1	570,052.00	362,278.35
5	2,015	28,000	35,000	52,000	65,000			1		485,490.00	275,480.06
6	2,016	35,000	42,000	65,000	78,000			1		485,490.00	245,964.34
7	2,017	42,000	49,000	78,000	91,000			1		485,490.00	219,611.02
8	2,018	49,000	56,000	91,000	104,000				1	570,052.00	230,234.44
9	2,019	56,000	63,000	104,000	117,000			1		485,490.00	175,072.56
10	2,020	63,000	70,000	117,000	130,000			1		485,490.00	156,314.79
11	2,021	70,000	77,000	130,000	143,000		1			152,063.00	43,714.48
12	2,022	77,000	84,000	143,000	156,000				1	570,052.00	146,318.15
13	2,023	84,000	91,000	156,000	169,000			1		485,490.00	111,261.78
14	2,024	91,000	98,000	169,000	182,000			1		485,490.00	99,340.87
15	2,025	98,000	105,000	182,000	195,000				1	570,052.00	104,146.37
16	2,026	105,000	112,000	195,000	208,000			1		485,490.00	79,193.94
17	2,027	112,000	119,000	208,000	221,000		1			152,063.00	22,147.12
18	2,028	119,000	126,000	221,000	234,000			1		485,490.00	63,132.92
19	2,029	126,000	133,000	234,000	247,000				1	570,052.00	66,186.90
20	2,030	133,000	140,000	247,000	260,000			1		485,490.00	50,329.18
VALOR PRESENTE TOTAL (U\$)										3,319,089.65	
ANUALIDAD (U\$)										\$ 444,355.67	

Cuadro N° 3-I Anualidad del Costo Variable de Mantenimiento para un escenario de 8,000 horas de operación y 300 horas de arranque

N°	AÑO	HORAS DE OPERACIÓN		HORAS EQUIVAL.DE OPERACIÓN		M4000	M8000	M16000	M48000	TOTAL	VALOR
						33,853	152,063	485,490	570,052	U\$	PRESENTE(U\$)
1	2,011	0	8,000	0	14,000		1			152,063.00	135,770.54
2	2,012	8,000	16,000	14,000	28,000			1		485,490.00	387,029.66
3	2,013	16,000	24,000	28,000	42,000			1		485,490.00	345,562.19
4	2,014	24,000	32,000	42,000	56,000				1	570,052.00	362,278.35
5	2,015	32,000	40,000	56,000	70,000			1		485,490.00	275,480.06
6	2,016	40,000	48,000	70,000	84,000			1		485,490.00	245,964.34
7	2,017	48,000	56,000	84,000	98,000				1	570,052.00	257,862.57
8	2,018	56,000	64,000	98,000	112,000			1		485,490.00	196,081.27
9	2,019	64,000	72,000	112,000	126,000		1			152,063.00	54,835.44
10	2,020	72,000	80,000	126,000	140,000			1		485,490.00	156,314.79
11	2,021	80,000	88,000	140,000	154,000				1	570,052.00	163,876.33
12	2,022	88,000	96,000	154,000	168,000			1		485,490.00	124,613.19
13	2,023	96,000	104,000	168,000	182,000			1		485,490.00	111,261.78
14	2,024	104,000	112,000	182,000	196,000				1	570,052.00	116,643.93
15	2,025	112,000	120,000	196,000	210,000			1		485,490.00	88,697.21
16	2,026	120,000	128,000	210,000	224,000			1		485,490.00	79,193.94
17	2,027	128,000	136,000	224,000	238,000		1			152,063.00	22,147.12
18	2,028	136,000	144,000	238,000	252,000				1	570,052.00	74,129.33
19	2,029	144,000	152,000	252,000	266,000			1		485,490.00	56,368.68
20	2,030	152,000	160,000	266,000	280,000			1		485,490.00	50,329.18
VALOR PRESENTE TOTAL (U\$)										3,304,439.89	
ANUALIDAD (U\$)										\$ 442,394.38	



ANEXO N°4 Procedimiento N° 34 DETERMINACION DE LOS COSTOS DE MANTENIMIENTO DE LAS UNIDADES TERMOELECTRICAS DEL COES (VER TEXTO HOJA SIGUIENTE)