



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA  
ENERGÍA – PROCESOS Y USO EFICIENTE DE ENERGÍA

"DISEÑO DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO PRINCIPAL (LADO AGUA) EN UNA CENTRAL DE CICLO COMBINADO Y SU IMPACTO ECONÓMICO-ENERGÉTICO"

TESIS  
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:  
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:  
JOSÉ ANTONIO LEMUS VELÁZQUEZ

TUTOR PRINCIPAL  
DR. GABRIEL LEON DE LOS SANTOS

CIUDAD DE MÉXICO, MAYO 2017

**JURADO ASIGNADO:**

Presidente: Dr. Arturo Guillermo Reinking Cejudo

Secretario: M. en I. Augusto Sánchez Cifuentes

Vocal: Dr. Gabriel León De Los Santos

1<sup>er</sup>. Suplente: Dr. Héctor Miguel Aviña Jiménez

2<sup>d</sup> o. Suplente: Dr. Pablo Álvarez Watkins

Lugar o lugares donde se realizó la tesis: Ciudad de México

**TUTOR DE TESIS:**

Dr. Gabriel León De Los Santos

-----  
FIRMA

# Dedicatoria

*A mis padres, a los que les debo  
todo lo que soy.*

*A mis hermanos, por siempre ser un ejemplo  
y apoyo incondicional.*

*A mi esposa Maribel y mi hijo Patricio,  
quienes son mi razón de existir.*

# Índice General

Índice de Figuras .....	IV
Índice de Cuadros.....	VI
Acrónimos y Abreviaturas .....	VII
Resumen .....	1
Introducción .....	3
Capítulo 1. Introducción a los Ciclos de Potencia para la Generación Eléctrica .....	7
1.1 Generalidades.....	8
1.2 Ciclo Brayton.....	11
1.2.1 Ciclo Brayton en turbina de gas .....	11
1.2.2 Evolución en las Turbinas de Gas.....	13
1.2.3 Principales tipos de Turbinas de Gas para generación eléctrica. ....	15
1.2.3.1 Turbina de Gas Aeroderivadas.....	15
1.2.3.2 Turbina de Gas Industriales.....	16
1.3 Ciclo Rankine.....	17
1.3.1 Variantes del ciclo Rankine Simple.....	18
1.3.1.1 Ciclo Rankine con recalentamiento aplicado al Ciclo Combinado.....	18
1.3.1.2 Ciclo Rankine Regenerativo aplicado al Ciclo Combinado.....	19
1.4 Combustibles fósiles para generación eléctrica.....	20
1.4.1 Carbón como combustible para la generación eléctrica.....	21
1.4.2 Derivados del Petróleo para la generación eléctrica.....	21
1.4.3 Gas Natural para la generación eléctrica.....	22
1.4.4 Entorno global en México.....	23
1.5 Conclusiones del Capítulo 1.....	24
Capítulo 2. Sistemas Principales de una Central de Ciclo Combinado (Empalme I) .....	25
2.1 Sistema de Turbina de Gas.....	26
2.1.1 Descripción del Sistema de Turbina de Gas (Empalme I) .....	27
2.2 Sistema de Turbina de Vapor.....	29
2.2.1 Descripción del Sistema de Turbina de Vapor (Empalme I) .....	30

2.3 Sistema de Condensado.....	31
2.3.1 Descripción del Sistema de Condensado (Empalme I).....	32
2.4 Sistema de Agua de Alimentación.....	33
2.4.1 Descripción del Sistema de Agua de Alimentación (Empalme I). ....	34
2.5 Sistema Generador de Vapor por Recuperación de Calor (GVRC). ....	34
2.5.1 Descripción del Sistema Generador de Vapor por Recuperación de Calor (Empalme I). ....	35
2.6 Sistema de Combustible.....	38
2.6.1 Descripción del Sistema de Combustible (Empalme I). ....	38
2.7 Sistema de Enfriamiento Principal.....	39
2.8 Conclusiones del Capítulo 2.....	40
 Capítulo 3. Sistemas de Enfriamiento Principal (Agua de Circulación).....	 42
3.1 Sistema cerrado con torre de enfriamiento.....	43
3.1.1 Torre de Enfriamiento. ....	45
3.1.2 Bombas de Agua de Circulación (Sistema cerrado con Torre de Enfriamiento). ...	47
3.1.3 Descripción Funcional del Sistema cerrado con Torre de Enfriamiento.....	48
3.2 Sistema de Enfriamiento principal seco con Aerocondensador. ....	50
3.2.1 Aerocondensador.....	51
3.3 Sistema de Enfriamiento principal abierto.....	51
3.3.2 Rejas Bastas.....	53
3.3.3 Mallas Giratorias.....	53
3.3.4 Bombas de Agua de Circulación.....	54
3.3.5 Condensador Principal.....	55
3.4 Conclusiones del Capítulo 3.....	55
 Capítulo 4. Diseño del Sistema de Enfriamiento Principal (Empalme I) .....	 57
4.1 Funciones del Sistema.....	58
4.3 Descripción de la Obra de Toma.....	59
4.4 Descripción de las Bombas de Agua de Circulación.....	61
4.5 Elementos de la Operación normal.....	61
4.7 Entradas para el Diseño del Sistema de Enfriamiento y sus componentes.....	62
4.8 Cálculo del Sistema de Enfriamiento Principal.....	63
4.8.1 Determinación del Flujo, Temperatura y Presión de Diseño.....	63

4.8.2 Consideraciones Adicionales .....	64
4.8.3 Arreglo de Tuberías .....	65
4.8.4 Consideraciones en el Condensador y Sistema de Limpieza de bolas.....	66
4.8.5 Perdidas Lineales en Tuberías.....	66
4.8.6 Perdidas Localizadas en Tuberías .....	67
4.8.7 Perdidas por Válvulas de Mariposa.....	70
4.8.8 Perdidas por diferencia Geométrica.....	72
4.9 Conclusiones del Capítulo 4.....	77
Capítulo 5. Análisis Económico.....	78
5.1 Costo Nivelado de Generación.....	80
5.1.1 Consideraciones Adicionales para determinar el CNG.....	81
5.2 Costo de Inversión de la Central .....	82
5.3 Costos de Mantenimiento y Operación de la Central.....	85
5.3.1 Factor de Planta.....	85
5.3.2 Generación Neta para cada periodo. ....	88
5.3.3 Costo por Consumo de Hidrógeno.....	89
5.3.4 Costo por Consumo de Agua Desmineralizada.....	89
5.3.5 Costo por Mantenimiento de Turbogeneradores de Gas.....	90
5.3.6 Costo por Consumo de Combustible.....	90
5.4 Costo por Consumo Eléctrico Adicional de Auxiliares.....	94
5.4.1 Caso 1 .....	94
5.4.2 Caso 2 .....	98
5.5 Conclusiones del Capítulo 5.....	100
Conclusiones Generales.....	101
Bibliografía.....	104
Anexo 1 .....	105
Anexo 2 .....	113
Anexo 3 .....	137

# Índice de Figuras

Fig. 1.1 Ciclo de Carnot (Diagrama TS).....	9
Fig. 1.2 Ciclo abierto turbina de gas.....	11
Fig. 1.3 Ciclo Cerrado Turbina de Gas.....	12
Fig. 1.5 Layout primer turbina de gas.....	15
Fig. 1.6 Turbina Aeroderivada GE 13-100 MW. ....	16
Fig. 1.7 Diagrama Ciclo Rankine Simple.....	17
Fig. 1.8 Diagrama Ciclo Rankine con Recalentamiento. ....	19
Fig. 1.9 Capacidad Efectiva al 2010 por Tecnología de Generación.....	20
Fig. 2.1 Turbina Siemens SGT6-8000H. ....	27
Fig. 2.2 Condensador Típico de doble caja y un solo paso. ....	32
Fig. 2.3 Diagrama Típico para Bombas de AP en un GVRC. ....	34
Fig. 2.4 Componentes Principales de un GVRC. ....	36
Fig. 2.5 Diagrama de Distribución de Temperaturas en un GVRC. ....	37
Fig. 2.6 Microfotografía con agrietamientos por SCC en GRVC CC Manzanillo.....	38
Fig. 2.7 Diagrama Típico del Sistema de Combustible de una Central de Ciclo Combinado. ....	39
Fig. 2.8 Central Termoeléctrica "Manuel Álvarez Moreno" Manzanillo, Colima. ....	40
Fig. 3.1 Diagrama simplificado de Central con Sistema de Enfriamiento con Torre. ....	44
Fig. 3.2 Diagrama funcional simplificado del Sistema de Enfriamiento con Torre.....	44
Fig. 3.3 Vista superior de las charolas de distribución.....	45
Fig. 3.4 Arreglo del Relleno de la Torre.....	46
Fig. 3.5 Ventilador Tiro Inducido de la Torre de Enfriamiento.....	47
Fig. 3.6 Bomba de Agua de Circulación.....	48

Fig. 3.7 Disposición general del sistema de agua de circulación.....	49
Fig. 3.8 Aerocondensador.....	50
Fig. 3.9 Aerocondensador.....	51
Fig. 3.10 Diagrama Simplificado de Sistema Abierto de Agua de Mar. ....	52
Fig. 3.11 Rejas Bastas.....	53
Fig. 3.12 Mallas Giratorias. ....	54
Fig. 3.13 Bomba de Agua de Circulación (Circuito Abierto).....	54
Fig. 3.14 Condensador tipo con doble caja de Agua.....	55
Fig. 4.1 Planta Cárcamo de Bombeo. ....	60
Fig. 4.2 Elevación Cárcamo de Bombeo.....	60
Fig. 4.3 Diagrama de Flujo simplificado del Sistema de Enfriamiento. ....	62
Fig. 4.4 Balance de Masa y Energía en Condensador (100% carga Diseño de verano). ....	63
Fig. 4.5 Arreglo de Tuberías del Sistema, indicando longitudes en metros. ....	65
Fig. 4.6 Esquema en elevación del Pozo de Sellos.....	72
Fig. 4.7 Curva de la Bomba del Sistema de Enfriamiento Principal.....	74
Fig. 4.8 Desempeño de motores de eficiencia NEMA Premium®. ....	76
Fig. 5.1 Resumen de Desempeño.....	83
Fig. 5.2 Grafica de Flujo de Agua vs. Capacidad Neta.....	96
Fig. 5.3 Grafica de Flujo de Agua vs. Capacidad Neta.....	96



# Índice de Cuadros

Cuadro 1.1 Importación Actual de Hidrocarburos.....	23
Cuadro 2.1 Parámetros de funcionamiento.....	29
Cuadro 2.2 Parámetros de Diseño al 100% de carga Turbina MTD70-CR.....	31
Cuadro 4.1 Valores de Rugosidad Absoluta k (mm) según distintas fuentes .....	66
Cuadro 4.2 Calculo de propiedades de tuberías para perdidas lineales .....	67
Cuadro 4.3 Determinación de factor de fricción y perdidas lineales .....	67
Cuadro 4.4 Determinación de Perdidas Localizadas en Tramo 1.....	68
Cuadro 4.5 Determinación de Perdidas Localizadas en Tramo 2.....	68
Cuadro 4.6 Determinación de Perdidas Localizadas en Tramo 3 .....	69
Cuadro 4.7 Determinación de Perdidas Localizadas en Tramo 4 .....	69
Cuadro 4.8 Determinación de Perdidas Localizadas en Tramo 4 .....	69
Cuadro 4.9 Perdidas Localizadas en Trayectoria 1 .....	70
Cuadro 4.10 Perdidas Localizadas en Trayectoria 2 .....	70
Cuadro 4.11 Perdidas Localizadas Totales .....	70
Cuadro 4.12 Valores de Kv válvula de mariposa en f (ángulo de apertura, diámetro). .....	71
Cuadro 4.13 Cálculo para el punto de Funcionamiento de la Bomba.....	73
Cuadro 5.1 Costo Unitario de Inversión (Dólares / kW <sub>Bruto</sub> ) .....	83
Cuadro 5.2 Costo de Inversión en Valor Presente (Dólares y Pesos). .....	85
Cuadro 5.3 Composición del Combustible. ....	92
Cuadro 5.4 Escenario de Costo de Gas Natural periodo (2013-2047). ....	93
Cuadro 5.5 Análisis de sensibilidad por variación del flujo de enfriamiento.....	95
Cuadro 5.6 CNG por variación en flujo de agua de enfriamiento. ....	97

Cuadro 5.7 Costos por incremento de CNG.....	97
Cuadro 5.8 Costos reducción de energía generada.....	98
Cuadro 5.9 Valor Presente de Costos Totales por variación del flujo.....	98
Cuadro 5.10 Diferencias en Consumo Eléctrico por variación de Carga Dinámica. ....	99
Cuadro 5.11 Costos Nivelados por variación de Carga Dinámica. ....	100

## Acrónimos y Abreviaturas

COPAR	Costos y Parámetros de Referencia para de Proyectos de Inversión del Sector Eléctrico.
\$	Pesos Mexicanos
°C	Grado Centígrado
A.D.	Agua Desmineralizada.
BHP	Potencia al Freno.
C.H.	Consumo de Hidrógeno.
C.I.	Costo de Inversión.
CFE	Comisión Federal de Electricidad
CN	Costo Nivelado.
CNG	Costo Nivelado de Generación.
DAFDAE	Decremento Anual del Factor de Disponibilidad Anual Equivalente.
DOF	Diario Oficial de la Federación.
F.P.	Factor de Planta
FDEA	Factor de Disponibilidad Equivalente Anual.
$G_i$	Generación Neta del Periodo i.
GVRC	Generador de Vapor por Recuperación de Calor.
h	Hora.
H	Entalpía.
$H_f$	Pérdida de Carga.
HI	Horas Indisponibles por año.
HP	Caballo de Fuerza.
HSED	Horas equivalentes al año derrateadas atribuible a los equipos.
HSEF	Horas al año en las que existieron salidas no planeadas (forzadas).
HSMP	Horas al año en las que existieron salidas planeadas (mantenimiento).
kg	Kilogramo.

kJ	Kilojoule
kW	Kilowatt.
m	Metro
MEM	Mercado Eléctrico Mayorista
MSNMM	Metros sobre el Nivel Medio del Mar.
MW	Megawatt.
n	Horizonte de vida útil de la central.
P	Presión.
PCI	Poder Calorífico Inferior
PCS	Poder Calorífico Superior
$P_H$	Potencia Hidráulica.
PH	Horas disponibles por año.
PIDIREGAS	Proyectos de Inversión Diferidos en el Gasto.
$P_{Motor}$	Potencia del Motor Eléctrico.
POISE	Programa de Obras e Inversiones del Sector Eléctrico.
Q	Flujo.
RTMP	Régimen Térmico Medio Pesado.
s	Segundo
SHCP	Secretaria de hacienda y Crédito Público.
T	Temperatura.
t	Tasa de descuento
TG	Turbina de Gas.
USD	Dólares de los Estados Unidos de América.
VP	Valor Presente.
	Eficiencia.
	Tasa de Inflación.

# Resumen

A partir de la Reforma Energética del 2013, México sufre una de las más importantes transformaciones en el sector eléctrico nacional, del que sin duda se derivan grandes retos de competencia basados en eficiencia energética para producir el fluido eléctrico. Los escenarios planteados han abierto la condiciones para que la generación de electricidad, que previo a la promulgación de la reforma estaba en manos del Estado a través de la CFE, perdiendo dicha exclusividad y abriendo la posibilidad a que particulares puedan ofrecer energía al sistema eléctrico nacional, impulsando la competitividad del sector que en teoría resultaría en reducción de costos como principal premisa.

Como parte de este proceso, toma importancia el uso de fuentes renovables para generación eléctrica, así como el uso del gas natural como combustible principal en plantas de generación eléctrica, siendo este un combustible con menos efectos nocivos al medio ambiente que se tienen en centrales que utilizan otros combustibles como el carbón, combustóleo, diesel etc. Para ello se ha construido una importante infraestructura de gasoductos en el país, tomando gran relevancia las centrales de ciclo combinado como una alternativa para abastecer la proyección de la demanda en el futuro, que además generan electricidad con altas eficiencias y bajas las emisiones a la atmosfera.

El presente trabajo resalta la importancia que la eficiencia en el consumo de sistemas auxiliares de una central de ciclo combinado tiene para la eficiencia energética neta de planta, tal es el caso del sistema de enfriamiento principal. Por lo anterior, el análisis se basará en la central de ciclo combinado Empalme I, la cual su sistema de enfriamiento principal consiste en un sistema abierto enfriado con agua de mar en el que se pretende identificar el impacto económico y energético por su óptimo diseño durante la vida útil de la central.

Para ello fue necesario hacer uso de los recursos tecnológicos disponibles, así como de información técnica utilizada para el diseño de sistemas equivalentes aplicados en otras centrales del mismo tipo.

Se realizó una breve descripción sobre lo que consistirá el proyecto de análisis, seguido de explicaciones que van concretamente de lo general a lo específico para el desarrollo del presente trabajo, es decir se inicia planteando las bases de lo que son los ciclos de potencia para generación eléctrica, hasta los sistemas principales de las centrales de ciclo combinado.

Posteriormente se describe de forma más detallada los principales sistemas que integran una central de ciclo combinado, y se irá profundizando en los parámetros principales que se deben considerar en dichos sistemas para el diseño eficiente de una central de ciclo combinado.

A medida que se adentre en los sistemas de enfriamiento principal utilizados en las centrales de ciclo combinado, se analizan los diferentes tipos de enfriamiento que existen y concretamente se centra en el sistema de enfriamiento abierto con agua de mar, el cual es utilizado para la central de estudio.

Para analizar el impacto energético, fue necesario desarrollar el balance de planta de la central en un simulador (GT MASTER 25.0), el cual permitirá determinar los parámetros principales de desempeño, tales como Capacidad Neta, Régimen Térmico, Consumo de Auxiliares y otros consumos importantes. Todo ello basado en el arreglo de la central y en la configuración final de propuesta derivado del alcance establecido para el proyecto, así mismo se describen algunos sistemas auxiliares menos relevantes que componen dicha central pero que impactan notablemente en el consumo de equipos auxiliares.

Una vez que se analiza el diseño del sistema de agua de enfriamiento, se sientan las bases de consideración para su óptimo diseño, así como los factores que influyen en mayor medida. Se diseñaron las trayectorias más directas posibles, evitando caídas de presión innecesarias, y se hizo una evaluación para determinar correctamente la selección de equipos de bombeo disponibles en el mercado.

Respecto a la evaluación económica y al impacto que el óptimo diseño del sistema de agua de enfriamiento tiene, se evaluó en un periodo esperado de 30 años de vida útil para la central, por lo que se determinaron algunos incrementos energéticos por consumo de auxiliares (Sistema de Enfriamiento Principal), así como su efecto económico negativo basado en guías establecidas que puedan referenciar dichos gastos (COPAR).

# Introducción

Los sistemas auxiliares en una Central de Ciclo combinado, son de gran importancia para el buen desempeño de su operación, esto lleva a realizar grandes esfuerzos para optimizar su diseño. Un óptimo diseño de sistemas auxiliares incide notablemente en el consumo de energía para su operación, por lo que el objeto de este trabajo es centrarse en la importancia del óptimo diseño de los sistemas de enfriamiento principal, los cuales por los grandes flujos de fluidos de operación que se manejan suelen ser de alto consumo energético, por lo que el óptimo diseño lleva a tener grandes incrementos de eficiencia.

Actualmente los principales retos que enfrenta el sector eléctrico en el mundo, consiste en la implementación de medidas responsables con alto grado de sustentabilidad que promuevan el uso de energías renovables en mayor medida. En el caso de México, la Reforma Energética de 2013, ha promovido el mayor uso de fuentes renovables tales como energía eólica, geotérmica y solar principalmente, sin embargo esto no sería suficiente para abastecer la demanda en el corto, mediano y largo plazo, lo que nos lleva al uso de gas natural como primer opción de combustible, al ser la energía térmica de origen fósil más limpia y que su alto rendimiento en ciclos combinados lo mantienen como la principal alternativa de generación eléctrica en nuestro país, en el marco de la aplicación de la Reforma Energética de 2013.

La clave de estos nuevos retos que se presentan en el sector, radican en la calidad y eficiencia, por lo que se deberán reestructurar la manera en que se desarrollan los proyectos de generación eléctrica, haciéndose de gran relevancia el diseño ingenieril que permita maximizar los beneficios reduciendo los insumos, premisa esencial para cumplir con la definición de eficiencia. En esta nueva estructura establecida en la Ley de la Industria Eléctrica publicada en el DOF en 2014, se plantea un mercado eléctrico mayorista (MEM), donde el CENACE aún en control del Sistema Eléctrico Nacional (SEN), deberá operar en condiciones de eficiencia promoviendo la competitividad para todos los participantes, bajo igualdad de circunstancias y que en ningún caso las condiciones podrán ser discriminatorias.

Estas políticas públicas bien intencionadas en apariencia, pretenden como principal objetivo reducir las tarifas eléctricas en todos los sectores de la sociedad en México, promoviendo más inversiones que se traduzca en bienestar para el país, lo cual todavía se ve lejano, sin embargo desde un punto de vista técnico, se requiere de tomar las acciones de ingeniería necesarias que eleven estos índices de eficiencia.

En centrales de generación eléctrica, el desarrollo tecnológico de los equipos como los turbogeneradores de gas y de vapor, impacta directamente la eficiencia de la planta. Existen factores como los avances metalúrgicos en la fabricación de los equipos o mejores sistemas de enfriamiento que permitan a los materiales soportar mayores temperaturas, sin embargo hay todo un conocimiento fundamental detrás del diseño de estos equipos, por lo cual solo unas pocas empresas fabrican este tipo de equipos. Si bien los turbogeneradores de gas, son el principal equipo que incide en el índice de eficiencia en una central de ciclo combinado, hay factores secundarios en el diseño de los sistemas auxiliares de la planta que incrementan la eficiencia.

En una central de ciclo combinado hay una gran cantidad de consumo de auxiliares, principalmente en los diversos sistemas de bombeo para el ciclo de vapor que posteriormente es aprovechado en el turbogenerador de vapor. Es importante que en la concepción de una central de generación eléctrica se diseñen sistemas auxiliares eficientes, que junto con una cada vez mayor eficiencia de los equipos principales se traduzca en una central con alto grado de eficiencia, capaz de producir electricidad a costos reducidos por ende con grandes posibilidades de tener mayor participación en el mercado eléctrico mayorista.

Dentro de los sistemas de bombeo, evidentemente existen los que tienen mayor importancia y a partir de los cuales se deberán adaptar otros sistemas. Para un central de ciclo combinado los sistemas auxiliares que manejan mayores flujos de trabajo, deberán ser los que deban tener mayor atención en el diseño y en la selección de los equipos utilizados, tal es el caso de los sistemas de enfriamiento principal así como los sistemas de agua de alimentación.

Es importante que desde la selección del sitio donde será construida la central, se tomen en cuenta factores climatológicos y geográficos, ya que en las máquinas térmicas como las turbinas de gas, los parámetros climatológicos como la temperatura, humedad y presión son fundamentales para su óptimo desempeño. Así mismo los factores geográficos y de diseño que resulten en trayectorias más cortas, son de gran importancia para el desempeño global de la central.

En los sistemas de enfriamiento será de gran importancia considerar los factores geográficos, ya que en el caso de sistemas de enfriamiento abiertos, donde el agua de enfriamiento es tomada de fuentes externas como el mar o lagunas se deben considerar aspectos adicionales asociados a dicha fuente, para determinar la factibilidad de utilizarse para el fin requerido y que sus características sean las adecuadas para su uso.<sup>12</sup>

Para determinar las ventajas económicas y operativas se hará uso de análisis económicos incorporando los diseños optimizados, respecto a los diseños realizados o en consideración logrando identificar claramente estos beneficios.

En el Capítulo 1, se describirá un panorama general del fundamento termodinámico en los que está basado el funcionamiento de una central de ciclo combinado, se profundizará en los ciclos Brayton y Rankine, donde adicionalmente se describirán algunas de las variantes que presentan para incrementar su eficiencia. Por último se analizarán los combustibles utilizados haciendo especial énfasis en el gas natural.

En el Capítulo 2, se hará una descripción de los sistemas principales de una central de ciclo combinado, profundizando en las descripciones funcionales de cada uno de los sistemas indicando sus principales componentes.

---

<sup>1</sup>El Universal, "Reforma energética: 5 ejes en materia de energía eléctrica", (Agosto 2013).

<sup>2</sup> Diario Oficial de la Federación "Reglamento de la Ley de la Industria Eléctrica", (Diciembre 2014)



En el Capítulo 3, se iniciará con el análisis de los tipos de sistemas de enfriamiento principal que una central de ciclo combinado, describiendo detalladamente cada uno de ellos, centrándose en el sistema abierto con agua de mar, para ello se realizará la descripción detallada del sistema y parámetros de diseño.

En el Capítulo 4, se realizará el diseño del sistema de enfriamiento, indicando todos sus componentes, trayectorias, longitudes y consideraciones generales necesarios en la búsqueda de su óptimo diseño. Se determinarán los equipos de bombeo que serán utilizados y las condiciones de operación para las que el sistema este diseñado, tal es el caso de choques térmicos en condensadores o maniobras de retrolavado, que implicarán diferentes tipos de arreglo y posibles accesorios adicionales.

En el Capítulo 5, se realizará la evaluación económica asociada al óptimo diseño, que permitirá proyectar en un periodo de 30 años de vida útil de la central, los ahorros energéticos y económicos por reducción de consumo en equipos auxiliares, sensibilizando de la importancia de ello.

Por último, se podrá concluir los beneficios derivados de realizar un análisis completo para el óptimo diseño de los sistemas auxiliares que serán reflejados directamente en la parte económica.

# **Capítulo 1. Introducción a los Ciclos de Potencia para la Generación Eléctrica**

En este capítulo se analizarán los ciclos termodinámicos en los que las centrales termoeléctricas están fundamentadas, centrándose en los ciclos termodinámicos principales (Brayton y Rankine) que dan origen al funcionamiento de los ciclo combinados, para ello será relevante determinar los componentes principales, así como las condiciones generales de sus procesos, indicando alternativas que han sido incorporadas para beneficiar su eficiencia térmica. Con esto se pretende entender el funcionamiento general de una central de ciclo combinado permitiendo entender de lo general a lo específico.

## 1.1 Generalidades

Los dispositivos que producen potencia eléctrica, trabajan bajo ciclos termodinámicos, lo cual nos permite analizar los diferentes procesos y estados que se presentan en un ciclo para obtener potencia útil. Estos dispositivos también son llamados motores o maquinas térmicas.

Generalmente los ciclos termodinámicos se pueden clasificar en dos categorías en base a la fase en que permanece su fluido de trabajo:

1. Ciclos de Gas

Se caracteriza porque el fluido de trabajo permanece en fase gaseosa durante todo el ciclo.

2. Ciclos de Vapor

El fluido de trabajo puede existir en fase líquida o gaseosa durante parte del ciclo.

Adicionalmente estos pueden clasificarse en ciclos cerrados y abiertos, en los ciclos cerrados el fluido de trabajo vuelve al estado inicial al final del ciclo. En cuanto a los ciclos abiertos, su fluido de trabajo se renueva al final de cada ciclo y los gases de combustión escapan y son reemplazados por una nueva mezcla de combustible y aire.

Como anteriormente se mencionó los dispositivos utilizados para generar potencia útil, son los motores o máquinas térmicas, los cuales son clasificados como máquinas de combustión interna y de combustión externa, dependiendo del mecanismo de suministro del calor al fluido de trabajo.

Para el caso de la generación de potencia eléctrica en plantas termoeléctricas, pueden encontrarse de ambos tipos, ya que en centrales convencionales (Rankine), ciclos combinados, nucleares, geotérmicas y solares el calor es suministrado al fluido de trabajo desde una fuente externa, sin embargo los motores de combustión interna también son utilizados para la generación eléctrica, generalmente en sistemas aislados del sistema eléctrico donde la demanda de energía eléctrica no requiere grandes capacidades de generación.

Para analizar los ciclos termodinámicos sobre los que trabajan estos dispositivos, es de suma importancia realizar diversas consideraciones para su análisis ideal, esto debido a la gran cantidad de efectos físicos que suceden en un proceso para su cambio de un estado a

otro. Es decir si se realizan las idealizaciones necesarias para eliminar todas las irreversibilidades de un ciclo, es posible obtener un ciclo muy parecido al real, que facilite su análisis donde se logre identificar los parámetros principales.

En la generación eléctrica el objetivo principal de la maquinas térmicas es convertir la energía térmica extraída de los combustibles (gas natural, combustóleo, diesel, coque de petróleo, etc.) en trabajo útil para obtener energía eléctrica, por lo que el desempeño de estos dispositivos se debe expresar en función de su eficiencia térmica, es decir; la relación de trabajo útil que se puede obtener a partir de la cantidad de calor suministrado. Esta cantidad de calor suministrado se obtiene de la combustión del combustible seleccionado en base al tipo de planta.

Para el análisis de los ciclos ideales es importante mantener como referencia el ciclo de Carnot, el cual se trata de un ciclo completamente reversible y que presenta la eficiencia térmica más alta para una máquina térmica que opera entre los mismos niveles de temperatura. La diferencia entre un ciclo ideal internamente reversible pero externamente irreversible con el ciclo de Carnot, radica en que las irreversibilidades externas asociadas entre otras a la transferencia de calor debido a la diferencia de temperaturas.

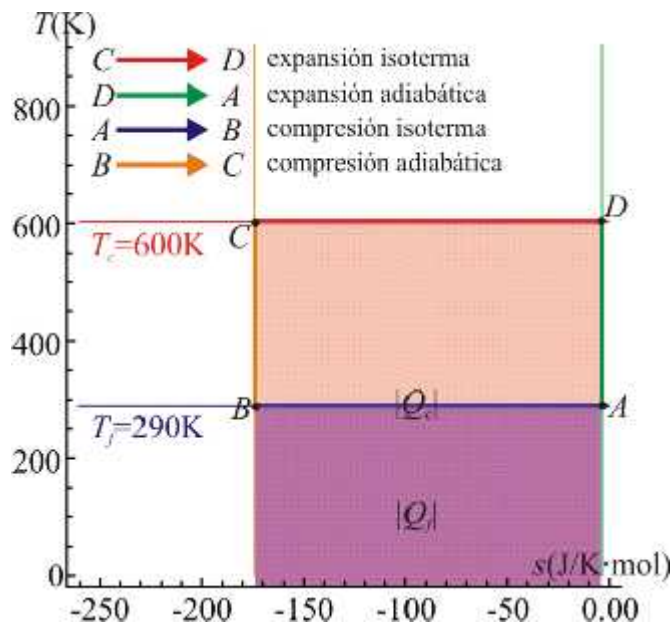


Fig. 1.1 Ciclo de Carnot (Diagrama TS).<sup>3</sup>

Las principales idealizaciones que se realizan para el análisis de los ciclos de potencia, generalmente es ignorar los efectos de la fricción, lo que genera que se eviten caídas de presión en el fluido de trabajo, los procesos de expansión en turbinas y compresión en bombas ocurren de forma cuasiequilibrio, es decir la transformación en un proceso sucede de un estado inicial a uno final en equilibrio y por último se realiza la consideración de que

<sup>3</sup> Departamento de Física Aplicada III (Universidad de Sevilla), Ciclo de Carnot, 2009.

las tuberías que se conectan en los diferentes componentes, se encuentran muy bien aisladas por lo que no permiten la transferencia de calor con los alrededores.

Otra de las idealizaciones que se realiza consiste en despreciar los cambios en energía cinética y potencial, esto se debe a que para dispositivos como turbinas, compresores y bombas, suelen ser muy pequeños respecto al resto de los términos en el balance de energía.

$$\begin{aligned}
 \cancel{m_1 g z_1} + \cancel{\frac{1}{2} m_1 V_1^2} + h_1 + \frac{dQ}{dt} &= \cancel{m_2 g z_2} + \cancel{\frac{1}{2} m_2 V_2^2} + h_2 + \frac{dW}{dt} \\
 h_1 + \frac{dQ}{dt} &= h_2 + \frac{dW}{dt} \\
 h_1 - h_2 &= \frac{dW}{dt} - \frac{dQ}{dt}
 \end{aligned}$$

**Ecuación No.1 Balance General de Energía.<sup>4</sup>**

Dónde:

m = Masa.

g = Gravedad.

h1 = Entalpía de entrada.

h2 = Entalpía de salida.

V1 = Velocidad de entrada.

V2 = Velocidad de salida.

dQ/dt = Flujo de Calor.

dW/dt = Potencia.

En las turbinas de gas y de vapor los valores de energía cinética y potencial son bajos, por lo que pueden ser despreciados, resultando en que el cambio de entalpía es igual a la diferencia del trabajo útil y el calor suministrado al ciclo.

Para fines del análisis del presente proyecto, se considerará la eficiencia de 1a. ley de la termodinámica, es decir la eficiencia se analizará respecto al total de la energía disponible, sin embargo obtener la eficiencia de 2a. ley de la termodinámica suele ser de gran ayuda para conocer el valor real del trabajo útil que se obtiene a partir de la energía disponible

<sup>4</sup> Elaboración propia.

capaz de convertirse en trabajo útil. Esto nos lleva a emplear el concepto de exergía y a identificar la cantidad de energía que se pierde asociada a irreversibilidades del proceso.

## 1.2 Ciclo Brayton

### 1.2.1 Ciclo Brayton en turbina de gas

El ciclo termodinámico utilizado en las turbinas de gas es el ciclo Brayton, que a pesar de que se modela como un ciclo completo, este no cumple con ser un ciclo completo ya que el estado final de su proceso, es un estado diferente al que se tenía al inicio del mismo, por lo que se puede decir que es un ciclo abierto.

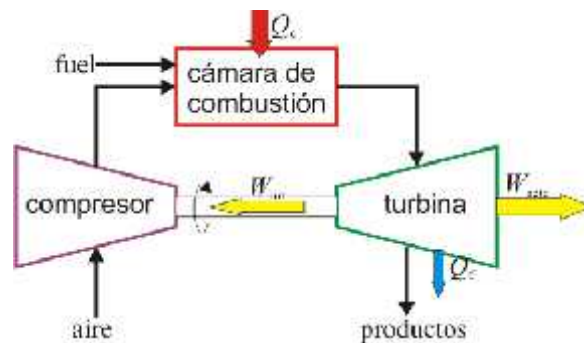


Fig. 1.2 Ciclo abierto turbina de gas.<sup>5</sup>

En la figura 1.2 se puede ver conceptualmente que la operación del ciclo termodinámico en una turbina de gas el estado final, no es precisamente el estado inicial del ciclo.

El proceso comienza al entrar aire al compresor a condiciones ambiente, donde como resultado de su compresión se eleva su temperatura y presión. Posteriormente el aire que sigue hacia la cámara de combustión se mezcla con el combustible (gas natural) combustionando a presión constante. Después del proceso de combustión los gases producidos a alta temperatura entran en la turbina, donde son expandidos hasta la presión atmosférica, produciendo potencia mecánica en la turbina que acoplado por medio de un flecha al generador eléctrico posteriormente es transformado potencia eléctrica. En el ciclo abierto de la turbina de gas, estos gases son rechazados al medio ambiente. Este ciclo abierto puede analizarse como un ciclo cerrado, mediante suposiciones de aire estándar, en el cual los procesos de compresión y expansión permanecen iguales, sin embargo el proceso de combustión, se sustituye por un proceso de adición de calor a presión constante por una fuente externa y el proceso de rechazo de calor a presión constante.

<sup>5</sup>Departamento de Física Aplicada III (Universidad de Sevilla), Turbina Ciclo Abierto, 2009

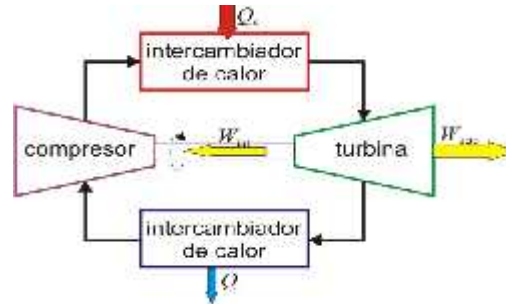


Fig. 1.3 Ciclo Cerrado Turbina de Gas.<sup>6</sup>

En las centrales de ciclo combinado este proceso de rechazo de calor a presión constante, es aprovechado mediante el uso de un GVRC, el cual aprovecha la energía térmica aun contenida en los gases de escape producto de la combustión que sirven como el calor suministrado en el ciclo de vapor.

El ciclo Brayton está compuesto básicamente por cuatro procesos internamente reversibles, es decir; para su análisis realizan las idealizaciones descritas anteriormente, los procesos del ciclo son los siguientes:

1. Compresión isentrópica  
Se realiza en el compresor de la turbina de gas.
2. Adición de calor a presión constante.  
Se realiza en la cámara de combustión de la turbina gas, aplicando una mezcla de aire con combustible (Gas Natural).
3. Expansión isentrópica en la turbina de gas.  
Esta expansión se realiza en la turbina de gas, la cual a partir de la presión que alcanza la combustión en la cámara de combustión, es llevada a la presión atmosférica.
4. Rechazo de calor a presión constante.  
Este rechazo de calor se produce en los gases procedentes de la combustión, los cuales, en el caso del ciclo combinado, son aprovechados para el ciclo de vapor.

La eficiencia de este ciclo analizado de manera independiente, principalmente depende de la relación de presiones que se presentan, así como la relación de los calores específicos del fluido de trabajo. Sin embargo tal como se ha indicado anterior mente la temperatura más

<sup>6</sup>Departamento de Física Aplicada III (Universidad de Sevilla),Turbina Ciclo Cerrado, 2009

alta que se presenta en el ciclo está limitada por la temperatura que puede soportar la primera etapa de los alabes de la turbina de gas.

El aire realiza dos funciones importantes, suministra oxígeno para la combustión del combustible y sirve como refrigerante para bajar la temperatura de diversos componentes como en los alabes posteriores a la combustión, donde se presentan la temperatura más altas. Del mismo modo otra de las idealizaciones que se plantean para el análisis del ciclo, es considerar que los gases producto de la combustión como gas ideal. Sus principales aplicaciones se encuentran en la generación eléctrica y la aviación.



**Fig. 1.4 Turbina prototipo GE.<sup>7</sup>**

### **1.2.2 Evolución en las Turbinas de Gas.**

La primera referencia al fenómeno en que se basa la turbina hay que buscarla en el año 150 A.C de manos del filósofo egipcio Hero, que ideó un pequeño juguete llamado "Aeolipilo", que giraba a partir del vapor generado en una pequeña caldera. El juguete era una pura elucubración mental, pues no se tiene constancia de que fuera construido.

La primera turbina de gas realmente construida fue concebida por J.F. Stolze en 1872 a partir de una patente de Fernlhousy construida realmente entre 1900 y 1904. Constaba de un compresor axial multietapa, un intercambiador de calor que precalentaba el aire antes de entrar en la cámara de combustión, utilizando los gases de escape de la turbina para este fin, y una turbina de expansión multietapa. A pesar del diseño, el poco éxito fue debido al bajo rendimiento tanto del compresor como de la turbina, por las bajas relaciones de compresión y la baja temperatura máxima alcanzada en función de los materiales disponibles en la época. La relación de compresión era sin duda uno de los retos a superar para el desarrollo de las turbinas, pues mientras no se consiguieran compresores eficaces era imposible desarrollar turbinas con rendimientos que permitieran su desarrollo.

---

<sup>7</sup>Bullis, Kevin "Las nuevas turbinas de gas GE, MIT TechnologyReview" (2012)



Los primeros turbocompresores axiales de rendimiento aceptable aparecen en 1926, A. A. Griffith establece los principios básicos de su teoría del perfil aerodinámico para el diseño de compresores y turbinas, es a partir de aquí cuando se emprende el desarrollo de los compresores axiales. La teoría del perfil aerodinámico expuesta por Griffith es sin duda un importante hito en el desarrollo de las turbinas de gas tal y como las conocemos hoy en día. Hasta 1937 todos los desarrollos de turbinas de gas tenían una finalidad industrial y no conseguían competir con los motores alternativos a pistón, debido siempre a su bajo rendimiento máximo (20%).

Las primeras turbina fabricadas en la década de 1940 apenas contaban con alrededor de 17% de eficiencia en su ciclo simple, derivado de bajas relaciones de compresión y de bajas temperaturas que podían soportar los metales de fabricación, especialmente los primeros alabes de la turbinas, sin embargo los avances han sido centrado en 3 áreas fundamentalmente.

1. La relación de compresión del compresor y su rendimiento.
2. La resistencia de los materiales para poder usar altas temperaturas en la cámara de combustión y en las primeras etapas de la turbina.
3. En menor medida, la dificultad para controlar todo el sistema de forma manual.

El desarrollo de la turbina de gas sólo ha sido posible tras desarrollar un compresor axial a partir de la mejora de conceptos aerodinámicos, que han permitido altas relaciones de compresión. El segundo de los pilares ha sido la innovación tecnológica en el campo de los materiales, con el desarrollo de nuevas aleaciones mono cristal y recubrimientos cerámicos. Esto, unido un profundo estudio de la refrigeración interior del alabe ha permitido alcanzar temperaturas muy altas tanto en cámara de combustión como en los primeros álabes. La tercera de las claves ha sido el desarrollo de la informática, ya que el empleo de ordenadores ha permitido por un lado poder simular determinadas condiciones y comportamientos, para así mejorar los diseños. Así como desarrollar sistemas de control que permiten de forma muy sencilla para el operador arrancar, parar y vigilar los principales parámetros de operación de la máquina minuto a minuto, y además pueden diagnosticar el estado técnico del equipo y predecir futuros fallos. La primera turbina de gas para una central generadora de energía eléctrica fue instalada en 1949 en Oklahoma. Fue construida por la General Electric, producía 3.5 MW de potencia y la turbinas de gas instaladas hasta mediados de 1970 sufrían de baja eficiencia y escasa confiabilidad.

En el pasado la generación de potencia eléctrica para carga base estaba dominada por grandes centrales generadoras que funcionaban con carbón y energía nuclear. Sin embargo las turbinas de gas impulsadas por el uso de gas natural, debido a sus mayores eficiencias, menores costos de inversión, tiempos más cortos de instalación y mejores características respecto a las emisiones contaminantes, cada vez más empresas productoras de energía eléctrica están empleando turbinas de gas para producción de potencia para carga base así como para carga pico.

Los costos de construcción de centrales generadoras de turbina de gas son aproximadamente de la mitad en comparación con los de una central generadora de vapor que funciona con combustibles fósiles, las cuales fueron las principales centrales eléctricas para carga base hasta principios de la década de 1980. Se prevé que más de la mitad de todas las centrales que se instalarán en el futuro sean de turbina de gas o combinarán las turbinas de gas y de vapor.

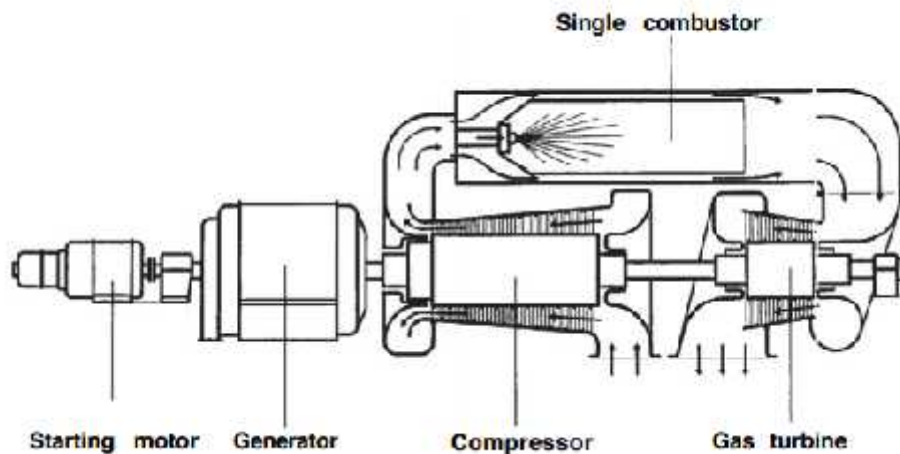


Fig. 1.5 Layout primer turbina de gas.<sup>8</sup>

### 1.2.3 Principales tipos de Turbinas de Gas para generación eléctrica.

Las Turbinas de Gas son equipos capaces de transformar la energía química contenida en un combustible en energía mecánica, ya sea para su aprovechamiento energético o como fuerza de impulso de aviones, automóviles o barcos.

Pueden clasificarse según el origen de su desarrollo, por el diseño de su cámara de combustión y por su número de ejes.

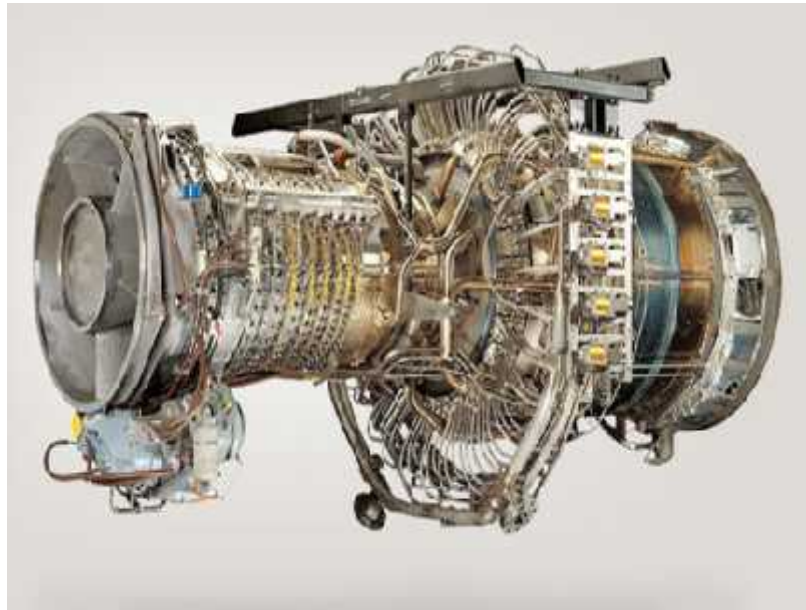
#### 1.2.3.1 Turbina de Gas Aeroderivadas.

Proviene del diseño de turbinas para fines aeronáuticos, pero adaptadas a la producción de energía eléctrica en plantas industriales o como micro turbinas. Sus principales características son su gran fiabilidad y su alta relación potencia/peso, además cuentan con una gran versatilidad de operación y su arranque no es una operación tan crítica como en otros tipos de turbinas de gas.

<sup>8</sup>Alstom, "Layout Primer Turbina de Gas" (2007)

Pueden alcanzar potencias de hasta 50 MW, moviendo los gases a una gran velocidad, pero bajo caudal. Su compacto diseño facilita las operaciones de sustitución y mantenimiento, lo que hace viable que se lleven a cabo revisiones completas en menores intervalos de tiempo.

La versatilidad de este tipo de turbinas, permite satisfacer la demanda de energía en los picos de demanda que gracias a sus rápidos arranques permite la generación inmediata de energía eléctrica.<sup>9</sup>



**Fig. 1.6 Turbina Aero derivada GE 13-100 MW.<sup>10</sup>**

### **1.2.3.2 Turbina de Gas Industriales.**

La evolución de su diseño se ha orientado siempre a la producción de electricidad, buscándose grandes potencias y largos periodos de operación a máxima carga sin paradas ni arranques continuos.

Su potencia de diseño puede llegar a los 500 MW, moviendo grandes cantidades de aire a bajas velocidades, que pueden aprovecharse en posteriores aplicaciones de cogeneración. Su mantenimiento debe realizarse en sitio, debido a su gran tamaño y peso, buscándose alargar lo más posible en el tiempo las revisiones completas del equipo.

---

<sup>9</sup> Energiza.org, "Especial de Turbinas" (Septiembre 2011)

<sup>10</sup> General Electric, (2011)

### 1.3 Ciclo Rankine.

En México, hasta antes de los años 90's la demanda de energía eléctrica era abastecida por centrales termoeléctricas de vapor, basadas en el ciclo Rankine. Los esfuerzos por hacer más eficiente el ciclo, llevaron a presentar variantes al mismo como el recalentamiento y regeneración al ciclo simple, así como a la aplicación de ciclos combinados.

Este ciclo termodinámico es el principio de funcionamiento de diversas centrales de generación eléctrica, tal como nucleares, carboeléctricas o convencionales con caldera de vapor quemando cualquier tipo de combustible. Generalmente su fluido de trabajo, es agua desmineralizada, evitando efectos corrosivos en los diferentes componentes.

Para el análisis de este ciclo también son realizadas idealizaciones importantes como irreversibilidades, pérdidas por fricción y calor.

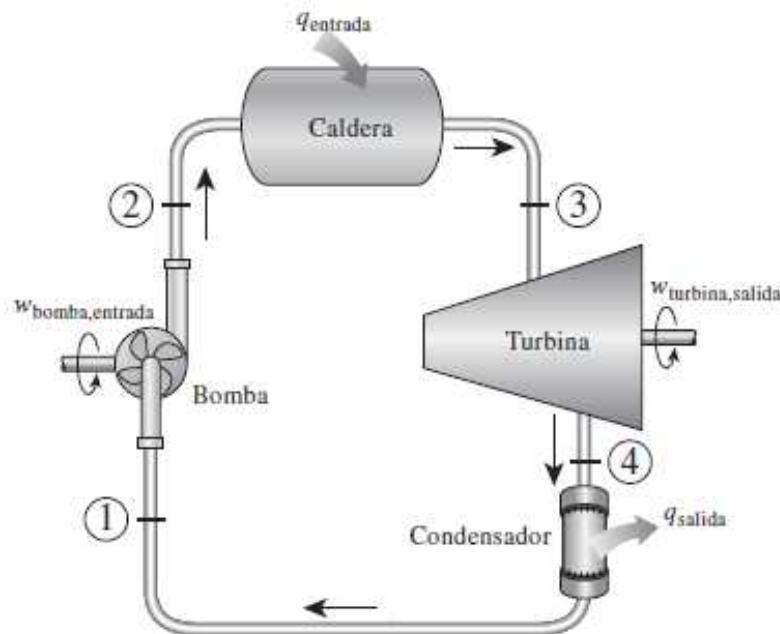


Fig. 1.7 Diagrama Ciclo Rankine Simple.<sup>11</sup>

Este ciclo consta de 4 procesos, que tal como se ha mencionado, para fines de análisis son internamente reversibles:

1. Compresión isentrópica en una bomba.  
Este proceso comienza con el bombeo de agua de alimentación a la caldera, extraída usualmente del pozo caliente donde se acumula el condensado una vez turbinado.
2. Adición de calor a presión constante en una caldera.

<sup>11</sup>Yunes, Cengel "Termodinámica" (2012)

Ocurre en la caldera y es aquí donde la incorporación del ciclo combinado toma importancia, ya que los gases de combustión de la turbina de gas, son aprovechados para utilizar la energía térmica contenida en ellos.

3. Expansión isentrópica en una turbina.

La expansión del vapor con alta presión y temperatura se desarrolla en la turbina de vapor. Es común en la práctica que una central de ciclo combinado tenga dos ó tres niveles de presión de trabajo en la turbina, lo que permite incorporar variantes al ciclo tal como recalentamiento, con la finalidad de aprovechar de mejor manera la energía contenida en los gases.

4. Rechazo de calor a presión constante en un condensador.

El rechazo de calor se presenta en el condensador, por medio del sistema de enfriamiento principal.

### **1.3.1 Variantes del ciclo Rankine Simple.**

La forma de maximizar los beneficios que se pueden obtener del ciclo Rankine, depende de varios factores, uno de ellos elevando la presión de operación de la caldera, de tal forma que cambio de entalpía de la presión y temperatura de operación de caldera hasta la expansión final sea la mayor. Esto nos lleva a que durante la expansión del vapor en la turbina, los últimos pasos de alabes puedan llegar a presentar humedad en el vapor, por lo que los materiales de fabricación de estos pasos deben ser capaces de soportar posibles erosiones asociadas a la presencia de humedad.

#### **1.3.1.1 Ciclo Rankine con recalentamiento aplicado al Ciclo Combinado.**

Una de las principales variantes al ciclo Rankine simple, es la incorporación de recalentado del vapor que sale de la primera etapa de la turbina de vapor, lo cual elevaría la temperatura del vapor incrementando por ende su entalpía y eficiencia. Nuevamente este sobrecalentamiento al vapor principal o recalentando para las siguientes etapas de la turbina, tiene su limitación en la metalurgia, que no permite elevar los niveles de presión y temperatura a niveles seguros de operación.

En las centrales de generación eléctrica, es una práctica habitual estos recalentamientos, que nos llevan a un complejo diseño de GVRC's, que deberán simular la caída de temperatura en el recorrido que realizan los gases de combustión a la chimenea, para permitir analizar la zona donde el punto de aproximación de temperaturas entre lado gases y lado vapor, sea el menor.

Es importante indicar que en la práctica, el punto de aproximación de un diseño eficiente de GVRC's, suele ser como máximo de 10 °C lo cual permite un aprovechamiento óptimo de la

temperatura. Estos GVRC's, que no son más que intercambiadores de calor de gran escala deben ser diseñados a contraflujo, es decir; la zona más fría de los gases de combustión, está en contacto con la zona más fría del agua de alimentación a caldera, del mismo modo la parte más caliente de estos gases deberán estar en contacto con el agua de alimentación con la temperatura más elevada.

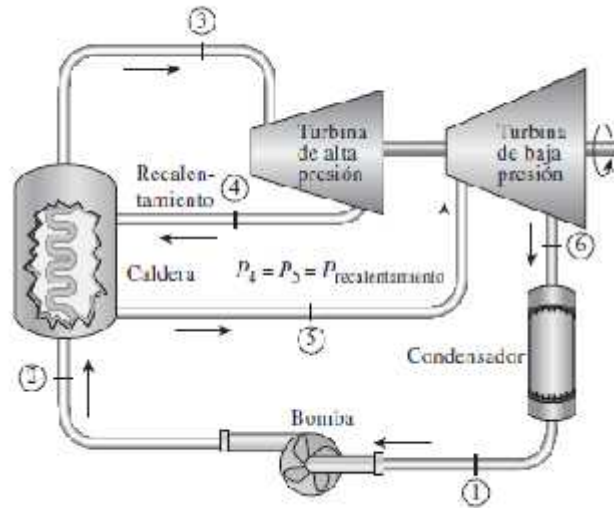


Fig. 1.8 Diagrama Ciclo Rankine con Recalentamiento.<sup>12</sup>

### 1.3.1.2 Ciclo Rankine Regenerativo aplicado al Ciclo Combinado.

Durante el proceso de bombeo de agua de alimentación a caldera, existe una cantidad de calor sensible que deberá ser suministrado al fluido de trabajo, esto nos lleva a planteamiento de otra variante, para incrementar la eficiencia del ciclo.

Para elevar esta temperatura del agua de alimentación antes de entrar a la caldera, se debe suministrar calor al fluido. Este suministro de calor se realiza a través de calentadores y existen de los siguientes tipos:

- **Calentador Abierto.**  
Este tipo de calentador es básicamente una cámara de mezclado, en la cual mediante una extracción de vapor de la turbina de vapor que entra en contacto directo con el agua de alimentación, eleva su temperatura.  
En Una planta de ciclo combinado, el deareador se puede considerar un calentador abierto, ya que mezcla vapor de baja presión con agua de alimentación con la finalidad de eliminar los gases incondensables.

<sup>12</sup>Yunes, Cengel "Termodinámica" (2012)

- Calentador Cerrado.

Es otro tipo de calentador de agua de alimentación frecuentemente utilizado en las centrales eléctricas de vapor es el calentador cerrado de agua de alimentación, en el cual el calor se transfiere del vapor extraído hacia el agua de alimentación sin que suceda ninguna mezcla. Los dos flujos pueden estar a presiones diferentes, puesto que no se mezclan.

En el caso de las centrales de ciclo combinado, son los precalentadores de agua de alimentación del GVRC's los que hacen esta función, ya que esencialmente consiste en un calentador que no está en contacto directo con el agua de alimentación, sin embargo tienen la diferencia que no son precalentados por medio de una extracción de vapor, si no por gases de combustión en la etapas de menor temperatura.

#### 1.4 Combustibles fósiles para generación eléctrica.

El uso de combustible fósiles para la generación eléctrica, ha sido el proceso más importante del sector energético durante el siglo XX y muy seguramente en la mayor parte del siglo XXI. Actualmente a nivel mundial, se estima que en el 2008 el 80% del consumo energético provenía de combustibles fósiles y para el caso de la generación de electricidad aproximadamente el 60% se genera a partir de estos.<sup>13</sup>

En el caso concreto de nuestro país de acuerdo a lo indicado en el POISE 2012-2026, la capacidad instalada efectiva en el 2010, estaba distribuida de la siguiente manera:<sup>14</sup>

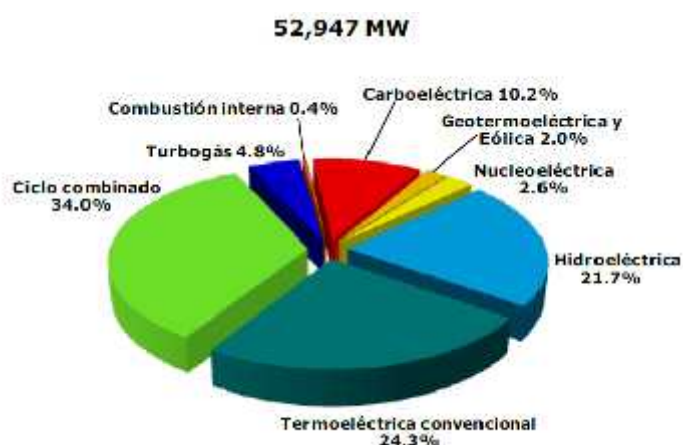


Fig. 1.9 Capacidad Efectiva al 2010 por Tecnología de Generación.<sup>15</sup>

<sup>13</sup> González, José Miguel "La Generación Eléctrica a partir de combustibles fósiles", (Diciembre 2009).

<sup>14</sup> International Energy Agency, "World Energy Outlook"(2015).

<sup>15</sup> POISE 2012-2026.

En la figura 1.9 se puede apreciar que las tecnologías que usan combustibles fósiles representan más del 70% de la capacidad instalada, por lo que en el corto y mediano plazo, los combustibles fósiles continuaran siendo la principal fuente energética para la generación eléctrica.

Un combustible, se puede concebir como cualquier material que al oxidarse de forma violenta, libera energía térmica en forma de calor. No se tiene identificados sus orígenes pero algunas teorías afirman que fueron formados a partir de materia orgánica que fue envuelta por capas de tierra y rocas, que posteriormente fue sometida a grandes presiones que descompusieron el producto.

En la generación de electricidad, se utilizan principalmente tres combustibles fósiles:

- Carbón
- Petróleo
- Gas natural

#### **1.4.1 Carbón como combustible para la generación eléctrica.**

Se trata de una roca sedimentaria de color negro que se localiza generalmente bajo una capa de pizarra y sobre una capa de arena y arcilla. Se cree que la mayor parte del carbón se formó hace 300 millones de años, a partir de materia vegetal que se acumuló en zonas pantanosas, lagunares o marinas y que fue transformada por bacterias anaeróbicas.

Este tipo de combustible no renovable tiene la ventaja de ser un combustible barato, ya que se cuentan con grandes reservas a nivel mundial, sin embargo tiene la desventaja de producir grandes cantidades de gases de efecto invernadero (CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, y CO) durante su utilización. Lo anterior incide en que su uso para la generación eléctrica este limitado, no siendo la primera alternativa de combustible.

Puede ser utilizado en centrales carboeléctricas, basadas en ciclo Rankine, sin embargo podría ser utilizado como combustible en sistemas más avanzado de potencia para la generación eléctrica tal como la Gasificación.

#### **1.4.2 Derivados del Petróleo para la generación eléctrica.**

Respecto a este combustible también existen diversas teorías de como se ha formado, sin embargo la más aceptada es la teoría orgánica que supone que se originó por la descomposición de los restos de animales y algas microscópicas acumuladas en el fondo de las lagunas y en el curso inferior de los ríos.

El petróleo es una mezcla de hidrocarburos, compuestos que contienen en su estructura molecular carbono e hidrógeno principalmente.



El número de átomos de carbono y la forma en que están colocados dentro de las moléculas de los diferentes compuestos proporciona al petróleo diferentes propiedades físicas y químicas. Los hidrocarburos compuestos por uno a cuatro átomos de carbono son gaseosos, los que contienen de 5 a 20 son líquidos y los de más de 20 son sólidos a la temperatura ambiente.

El petróleo crudo varía mucho en su composición, lo cual depende del tipo de yacimiento de donde provenga, pero en promedio podemos considerar que contiene de 83-86% de carbono y de 11-13% de hidrógeno. Mientras mayor sea el contenido de carbón en relación al del hidrógeno, mayor es la cantidad de productos pesados que tiene el crudo. Por lo tanto, para poder aprovecharlo como energético es necesario separarlo en diferentes fracciones que constituyen los diferentes combustibles como la gasolina, turbosina, diesel y combustóleo.

En la generación eléctrica los derivados del petróleo utilizados principalmente son el combustóleo y el diesel, usualmente son usados en motores de combustión interna en sistemas aislados. Así mismo el diesel puede ser utilizado en turbinas duales que puedan utilizar gas ó diesel, lo cual resulta en desgaste prematuro de la combustores en la cámara de combustión.

#### **1.4.3 Gas Natural para la generación eléctrica.**

El gas natural es una mezcla de gases ligeros, principalmente metano ( $\text{CH}_4$ ), pero contiene cantidades significativas de etano, propano, butano, pentano y bióxido de carbono; así como otros elementos como helio y nitrógeno. Puede encontrarse en forma aislada o asociado a yacimientos de petróleo o depósitos de carbón. Durante el siglo XIX y XX, la mayor parte del gas asociado se quemaba en los campos petroleros, ya que no tenía valor comercial y no se contaba con la infraestructura para aprovecharlo. Al gas natural se le denomina gas amargo cuando contiene ácido sulfhídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ) y gas dulce cuando se elimina este compuesto altamente corrosivo.

El gas natural no se utiliza tal y como se extrae del pozo, sino que se separa de los demás componentes para su transportación y consumo. Uno de estos procesos se denomina endulzamiento y consiste en atrapar el ácido sulfhídrico y el bióxido de carbono mediante una solución de agua y dietanolamina.

Una de las ventajas del gas natural es que produce poco  $\text{CO}_2$ , ya que el metano contiene 4 átomos de hidrógeno por 1 de carbono, produciendo 2 moléculas de agua por 1 de  $\text{CO}_2$ , mientras que otros hidrocarburos de cadena larga producen sólo 1 molécula de agua por 1 de  $\text{CO}_2$ .

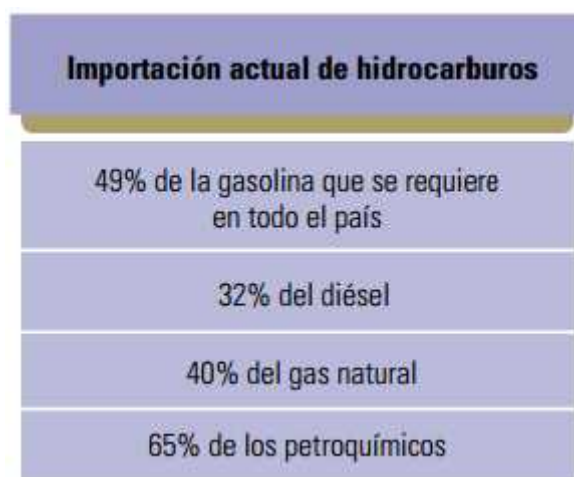
Por su versatilidad y bajas emisiones de gases de efecto invernadero, lo vuelve una alternativa muy importante para el sector eléctrico. Es por ello que la demanda de electricidad en México, está prevista cubrirse por ciclos combinados con gas natural como combustible, por lo que actualmente ya se construye una infraestructura importante de gasoductos alrededor del país.

#### 1.4.4 Entorno global en México.

Las nuevas reglas de operación para el Sector Energético, acordes con los estándares internacionales vigentes, buscan solucionar una problemática que radica en:

1. Participar exitosamente en un contexto económico global, extremadamente competitivo;
2. Reducir el costo de los energéticos,
3. Alcanzar desarrollo social y económico para el país.

Para ello, es necesario maximizar los recursos que permitan minimizar la dependencia externa de los energéticos.



**Cuadro 1.1 Importación Actual de Hidrocarburos.<sup>16</sup>**

Actualmente, somos deficitarios en la producción de gasolinas, diesel, gas natural y petroquímicos, sin embargo, la intención con esta Reforma Energética, es explotar las reservas y recursos prospectivos que poseemos, brindando el potencial para apalancar el desarrollo social y económico en el mediano y largo plazo. En cuanto a cifras, en el golfo de México se ubica el 50% de los recursos prospectivos de reservas de crudo de nuestro país, que representan 26,600 millones de barriles. Respecto al Gas Shale, México posee la sexta reserva internacional más grande con 600 billones ft<sup>3</sup>, en cuanto a lo relativo a Gas Natural posee 61 billones ft<sup>3</sup>.

Derivado de la proyección de un modelo abierto para las actividades de refinación, así como para el transporte almacenamiento y distribución de petróleo y sus derivados, se constituye un el Centro Nacional de Control del Gas Natural (CENAGAS), con el objetivo de la gestión y administración del Sistema de Transporte y Almacenamiento Nacional Integrado de Gas Natural (Sistema Nacional Integrado).

<sup>16</sup> KPMG México, "Reforma Energética, La Nueva Realidad en México" (2014).

El entorno global en México, pone como primera opción el uso de Gas Natural como combustible para la generación eléctrica.

### **1.5 Conclusiones del Capítulo 1.**

Es de suma importancia conocer los procesos de los ciclos de potencia utilizados para la generación eléctrica, ya que en la eficiencia de cada uno se basará la utilización del mismo. En la actualidad el ciclo combinado que incorpora el ciclo Rankine y el Brayton es la alternativa con mayor futuro, derivado de las altas eficiencias que se obtienen al combinarlos así como otros beneficios que presentan.

El uso del gas natural será la alternativa principal ya que en la actualidad se construye una infraestructura importante de gasoductos para abastecer la futuras centrales de ciclo combinado, los beneficios del uso del gas radican principalmente en los costos proyectados del mismo debido a los grandes yacimientos existentes, principalmente en Estados Unidos.

Será de gran importancia que nuestro país con la entrada en vigor de la Reforma Energética explote el potencial de este recurso, con ello reducir nuestra dependencia energética y generando mayores ingresos para su reinversión en el sector.

## **Capítulo 2. Sistemas Principales de una Central de Ciclo Combinado (Empalme I)**

Las Centrales de Ciclo Combinado son de amplia aplicación y tal como se ha mencionado en el capítulo anterior se perfilan como principal opción para la generación eléctrica, derivado de las ventajas que estas presentan respecto a cualquier otro tipo de tecnologías de generación y principalmente a su eficiencia térmica.

Se han incorporado variantes en su configuración, dependiendo del uso específico y los sistemas que se le pretenden incorporar, tal es el caso de la Gasificación incorporada al Ciclo Combinado ó bajo ciertos esquemas de cogeneración donde el vapor producido en el Generador de Vapor por Recuperación de Calor (GVRC), se envía a procesos industriales, por ejemplo, la Central de Cogeneración Salamanca, en el estado de Guanajuato donde la energía eléctrica producida en la turbina de gas es utilizada en el SEN, mientras que el vapor generado se envía a proceso en la refinería de PEMEX.

Este tipo de aspectos determinan los sistemas que integrarán la central, sin embargo usualmente los principales sistemas utilizados serán descritos a continuación. Para fines de este trabajo nos centraremos en los sistemas genéricos utilizados en este tipo de centrales, haciendo especial énfasis a la central Empalme I.

## **2.1 Sistema de Turbina de Gas.**

Las turbinas de Gas son el equipo principal de una central de ciclo combinado, son máquinas térmicas rotativas de combustión interna y de flujo continuo y están diseñadas para transformar la energía química de los combustibles en potencia mecánica en la flecha la cual a su vez, se transforma en energía eléctrica por medio de un generador eléctrico.

La potencia desarrollada en una turbina de gas debe ser suficiente para que impulsar el compresor, es decir; que el trabajo útil de la turbina de gas será la potencia útil en la turbina menos el trabajo realizado por el compresor, este suele ser el alrededor del 60% del trabajo total. Los factores que determinan en mayor medida la eficiencia del ciclo, son la relación de presiones en el compresor y la temperatura de entrada de los gases a la turbina. A medida que con el avance tecnológico en mejores materiales o diseños que permitan que estos parámetros aumenten, la eficiencia mejorará.

Para el proyecto de estudio, las Turbinas de Gas utilizadas, son el Modelo SIEMENS SGT6-8000H, consideradas turbinas de última generación para generación a gran escala, que entre sus ventajas destaca el mejoramiento en los materiales de la turbina aunado a un sistema de enfriamiento con aire que permiten soportar mayores temperaturas de combustión.

La unidad turbogeneradora de gas cumple con dos funciones dentro de la central de ciclo combinado. La primera es la generación de energía eléctrica haciendo girar un generador acoplado al eje de la turbina de gas. La segunda es la de aportar gas caliente para el sistema de generación de vapor por recuperación de calor.

El sistema de la central de ciclo combinado cuenta con dos unidades turbogeneradoras de gas como la que se describe en este documento.



Fig. 2.1 Turbina Siemens SGT6-8000H.<sup>17</sup>

### 2.1.1 Descripción del Sistema de Turbina de Gas (Empalme I)

La turbina de gas SGT6-8000H es de configuración mono eje de flujo axial. El eje está soportado por dos cojinetes situados en cada extremo, fuera de la zona presurizada.

La turbina de gas está dividida en tres tramos principales, el compresor, las cámaras de combustión y la turbina.

El compresor está formado por una consecución de etapas de compresión, todas ellas de flujo axial, en las que el aire absorbido se comprime. Cada etapa de compresión está formada por una fila de álabes fijos y una fila de álabes móviles. Los primeros están sujetos a la parte interior de la carcasa exterior de la máquina, mientras que los segundos están fijos a discos que los unen con el eje. El grado de inclinación al flujo de los álabes fijos de las primeras cuatro etapas de compresión puede variarse. Esto permite ajustar la admisión de aire del compresor para adecuarse a situaciones de arranque y parada, así como permitir optimizar la eficiencia en cargas parciales. Del flujo de aire que circula por el compresor se extrae una pequeña parte para refrigerar las partes con mayor carga térmica derivada del gas caliente tras la combustión, lo que incluye el sistema de combustión y las primeras etapas de la turbina. El compresor también cuenta con válvulas de extracción que ayudan a asegurar un flujo de aire continuo a través de él, sobre todo en arranques y paradas.

El aire comprimido pasa por un difusor y entra en las cámaras de combustión. La turbina de gas cuenta con 12 cámaras de tipo tubular repartidas en una distribución de anillo. En estas cámaras se inyecta el combustible a quemar usando el aire comprimido como comburente. Debido a que estos elementos soportan la temperatura de la llama por el interior tienen

<sup>17</sup> Siemens, "Gas Turbine Series - SGT-8000H " (2016).

implementado un recubrimiento de barrera térmica. Las cámaras de combustión están preparadas para la baja emisión de NOx en base seca (DLN). Los gases calientes producto de la combustión salen de las cámaras de combustión hacia la turbina.

Al igual que el compresor, la turbina está formada por una consecución de etapas de expansión, todas ellas de flujo axial, en las que se aprovecha la alta energía de los gases para producir energía mecánica. Cada etapa de compresión está formada por una fila de álabes fijos y una fila de álabes móviles. Los primeros están sujetos a la parte interior de la carcasa exterior de la máquina, mientras que los segundos están fijos a discos que los unen con el eje. Las primeras etapas de la turbina están refrigeradas con aire extraído del compresor, creando una película de aire de refrigeración que actúa como barrera ante las altas temperaturas de los gases.

Los álabes tanto de turbina como de compresor pueden retirarse sin necesidad de desmontar el rotor.

La extracción del aire del compresor para la refrigeración de la turbina se hace en distintos puntos del mismo, tomando aire acorde a las necesidades de cada etapa de la turbina que se refrigera.

Tras ser expandido, el aire abandona la turbina y, a través del sistema de escape, se dirige hacia el GVRC.

La turbina de gas cuenta con un sistema de drenaje para sacar de los conductos el agua que se vaporiza durante el lavado del compresor.

Para mantener una temperatura de operación constante, minimizar las pérdidas térmicas y asegurar una adecuada mitigación de ruido, la turbina de gas cuenta con un aislamiento a lo largo de la carcasa exterior, extendiéndose desde el compresor hasta el difusor de escape.

La unidad turbogeneradora de gas SGT6-PAC 8000H de Siemens está compuesta por los siguientes componentes:

- Turbina de gas SGT6-8000H.
- Generador eléctrico refrigerado con hidrógeno SGen6-2000H.
- Sistema de toma de aire.
- Sistema de escape.
- Sistemas auxiliares (Sistema de Combustible, equipo tornaflecha etc.).
- Sistema de instrumentación y control.
- Sistemas eléctricos.
- Sistema de detección y extinción de incendios.

La unidad turbogeneradora de gas transforma la energía térmica desarrollada en la combustión del gas natural en la turbina de gas en energía eléctrica en el generador acoplado a ella.

<b>Siemens SGT6-8000H</b>	
Capacidad ISO (MW)	296
Régimen Térmico (kJ/kWh)	8,999
Eficiencia (%)	40.0
Relación de Presión	19.5
Flojo de Escape (kg/s)	640
Velocidad (rpm)	3,600
Temperatura de Escape (°C)	630
Peso (Ton)	289
Largo (m)	10.5
Alto (m)	4.3
Ancho (m)	4.3
<b>En Ciclo Combinado con Arreglo 2x1</b>	
Capacidad (MW)	880
Eficiencia (%)	>60
Régimen Térmico (kJ/kWh)	<6,000
Capacidad TG´s (MW)	584

**Cuadro 2.1 Parámetros de funcionamiento.**<sup>18</sup>

## **2.2 Sistema de Turbina de Vapor.**

El sistema de turbina de vapor, es el equipo principal de generación principal de una Central Termoeléctrica convencional, Carboeléctrica, Nuclear, Geotérmica, y resulta parte fundamental en una central de ciclo combinado siendo el segundo equipo más importante después de los turbogeneradores de gas. Al igual que el turbogenerador de gas, la turbina de vapor es una maquina térmica rotativa de flujo continuo, que en su interior transforma la energía térmica del fluido de trabajo (vapor de agua) en energía mecánica de rotación del eje de la turbina.

El vapor con alta presión y temperatura contiene alta entalpía que en su proceso de expansión a través de los alabes de la turbina eleva su velocidad, disminuyendo su presión y temperatura. Posteriormente esa energía cinética se transfieren a los alabes al chocar con ellos o al cambiar su dirección debido a la forma de estos transformándose en energía mecánica.

La energía mecánica útil resulta igual a la entalpía que contiene el vapor a la entrada de la turbina menos la entalpía de vapor a la salida de la turbina de baja presión. Los turbogeneradores de vapor pueden clasificarse en dos tipos:

<sup>18</sup> Siemens, "Gas Turbine Series - SGT-8000H " (2016).



Turbinas de Acción -Son caracterizadas debido a que únicamente se produce un cambio de energía térmica a cinética en los alabes fijosdándose por el cambio de velocidad del fluido. Es decir, el brinco entálpico para obtener energía mecánica ocurre solo en el estator.

Turbinas de Reacción - Son caracterizadas debido a que la transformación de la energía térmica a cinética ocurre tanto en alabes fijos como en álabes móviles, con este criterio se puede decir que el brinco entálpico ocurre tanto en el estator como en el rotor, o únicamente en el rotor.

La eficiencia isotrópica de las actuales turbinas de vapor se encuentran por encima del 90%, por lo que están divididas por etapas (alta, media y baja) presión debido a que permite un mejor aprovechamiento de los gases de combustión en el Generador de Vapor por Recuperación de Vapor logrando producción de vapor a diferentes condiciones de Presión y Temperatura.

### **2.2.1 Descripción del Sistema de Turbina de Vapor (Empalme I)**

La unidad turbogeneradora de vapor utilizada para el proyecto es el Modelo MTD70-CR del Fabricante DoosanŠkoda y está compuesta por los siguientes componentes:

- Turbina de vapor de alta presión
- Turbina de vapor de media presión
- Turbina de vapor de baja presión
- Generador eléctrico refrigerado por hidrógeno
- Sistemas auxiliares, entre los que se incluyen:
  - Sistema de vapor de sellos
  - Sistema de drenajes
  - Sistema de aceite de lubricación
  - Equipo de tornaflecha
- Sistema de instrumentación y control
- Sistemas eléctricos

La unidad turbogeneradora de vapor transforma la energía térmica del vapor que entra en ella en energía mecánica, la cual es transformada en energía eléctrica por el generador. Para ello la turbina extrae la energía térmica del vapor generado en GVRC's en tres etapas, una de alta presión, una de media presión y una de baja presión.

Al salir el vapor se descarga en el condensador donde será condensado y devuelto a los GVRC's, cerrando el ciclo.

Tipo:	3 cuerpos (AP, MP y BP) con recalentado
Cuerpo de alta presión	
Hijos:	1
Etapas:	18
Presión de entrada de vapor de alta:	130 bar(a)
Temperatura de entrada de vapor de alta:	565.6 °C
Flujo de entrada de vapor de alta:	553.9 t/h
Cuerpo de media presión	
Flujos:	1
Etapas:	111
Presión de entrada de vapor recalentado:	27.3 bar(a)
Temperatura de entrada de vapor recalentado:	565.6 °C
Flujo de entrada de vapor recalentado:	621.97 t/h
Cuerpo de baja presión	
Hijos:	7
Etapas:	5
Longitud de alabeo en la última etapa:	1016 mm
Presión de salida:	0.07 bar(a)

**Cuadro 2.2 Parámetros de Diseño al 100% de carga Turbina MTD70-CR.<sup>19</sup>**

### 2.3 Sistema de Condensado.

El sistema de condensado para una Central de Ciclo Combinado es de gran relevancia por lo que debe garantizarse la disponibilidad y continuidad de funcionamiento para este sistema.

La función principal del sistema consiste en condensar el vapor al escape de la Turbina de Vapor, así como flujos de vapor de las distintas etapas (alta-intermedia presión). Usualmente las Centrales de Ciclo Combinado consideran como criterio de diseño, que el Condensador debe ser capaz de condensar el 100% de carga, es decir; debe ser diseñado para condensar todo el vapor que genera el ciclo, sin haberse turbinado.

Dada la importancia basada en el costo, que tiene generar agua desmineralizada de proceso, es necesario coleccionar todos los drenajes recuperables posibles, esto se realiza en la parte baja del Condensador por el lado vapor, también llamado Pozo Caliente, el cual sirve como almacenamiento del vapor condensado (fase líquida). Esta agua desmineralizada en su fase líquida es enviada con ayuda de las bombas de condensado al desgasificador que bien puede ser integral al domo de baja presión, iniciando nuevamente el proceso termodinámico.

Adicionalmente también tiene otras funciones, como son:

- Recibir el agua de repuesto del ciclo e integrarla con el condensado.

<sup>19</sup>DoosanSkodaPower "MTD-70 CR" (2016).

- Recibir los flujos de vapor de las derivaciones, o by-pass, de las turbinas de vapor de media y baja presión.
- Recibir los drenajes de los eyectores del sistema de vacío y los drenajes a vacío y atmosféricos de la turbina de vapor.
- Proceder al llenado inicial del sistema de agua de alimentación y economizadores y domos de Alta Presión y Media Presión de los GVRC's.
- Suministrar el agua de atemperación para la derivación (by-pass) del vapor recalentado caliente y del vapor de baja presión, así como el agua de atemperación para el sistema de vapor auxiliar.
- Suministrar el agua de atemperación para el escape de la turbina de vapor, vapor de sellos, tanque a vacío y tanque de drenajes atmosférico de la turbina de vapor.
- Suministrar el agua a los sellos de los eyectores de vacío de operación normal.
- Servir como almacenamiento del condensado proveniente del condensador en caso de algún imprevisto.
- Eliminar los gases incondensables del condensador.

### 2.3.1 Descripción del Sistema de Condensado (Empalme I).

El sistema de condensado y aportación al ciclo consiste en los siguientes componentes:

- Un (1) condensador de superficie refrigerado con agua de mar.
- Dos (2) bombas de condensado del 100% de capacidad, una en operación y otra en reserva.
- Un (1) tanque de repuesto de condensado.
- Dos (2) bombas de aporte continuo.
- Una (1) bomba de aporte intermitente
- Las tuberías y válvulas necesarias para que el sistema cumpla con sus funciones.

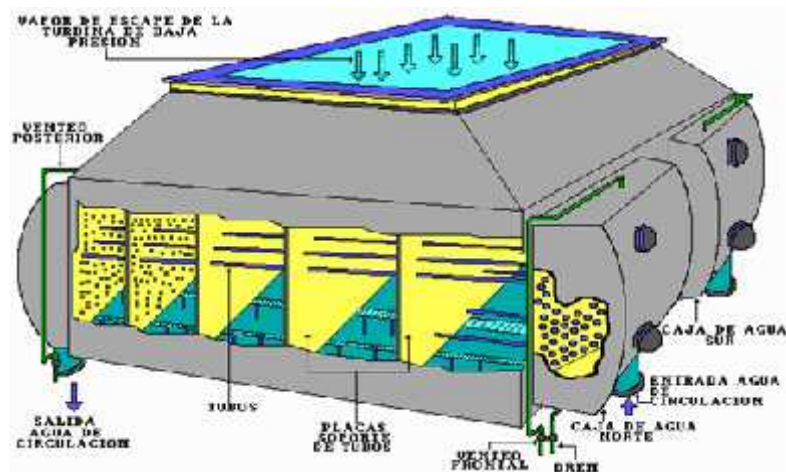


Fig. 2.2 Condensador Típico de doble caja y un solo paso.<sup>20</sup>

<sup>20</sup> CENAC Ixtapantongo, Dirección de Operación "Sistema de agua de Enfriamiento" (2009).

El vapor de escape de la turbina de vapor descarga en el condensador donde será condensado. El condensador operará en condiciones de vacío para lograr una mayor extracción de energía del vapor. El condensado que se forma es recogido en el pozo caliente del mismo, de donde es tomado por las bombas de condensado y, por medio de ellas, se envía a alimentar a los GVRC's.

En el caso de que el sistema de derivación (bypass) de las turbinas de vapor de media y baja presión esté en operación, el condensador recibirá el vapor de estas líneas y abatirá su carga térmica. Para ayudar en el proceso, las bombas de condensado, además de alimentar los GVRC's, bombearán agua de atemperación para estas derivaciones.

El sistema de condensado cuenta con el tanque de repuesto de condensado para el manejo del agua de repuesto. Éste es alimentado por las bombas de agua desmineralizada (del sistema de tratamiento de agua) y por la línea de exceso de condensado. Del tanque salen las líneas de aporte continuo y de aporte intermitente, por las cuales se envía el agua de repuesto al condensador impulsada por las bombas de aporte de agua de repuesto.

Por otro lado, el sistema de vacío consiste en:

- Cuatro (4) eyectores de operación normal (2 en operación y 2 en reserva).
- Un (1) eyector de arranque.
- Un (1) condensador de vapor de los eyectores.
- Las tuberías y válvulas necesarias para que el sistema cumpla con sus funciones.

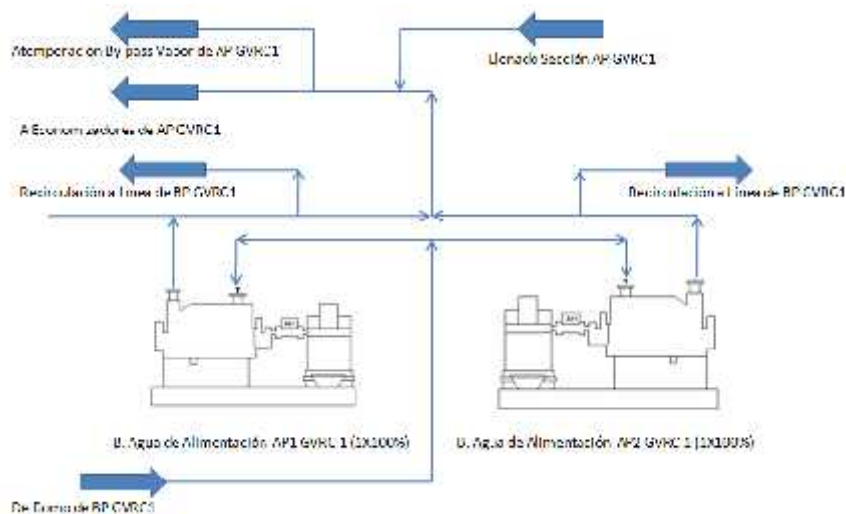
El sistema se encargará de extraer los gases incondensables del condensador, y así mantener las condiciones de vacío.

## **2.4 Sistema de Agua de Alimentación.**

En una Central de Ciclo Combinado, la función principal del sistema de agua de alimentación es la de proveer de agua con la calidad y condiciones adecuadas a los Generadores de Vapor por Recuperación de Calor (GVRC).

El agua de alimentación consiste básicamente en el agua proveniente del domo de baja presión de los GVRC, más el agua de repuesto (agua desmineralizada). El sistema suministra además agua de alta presión para atemperar el by-pass de vapor de alta presión.

El sistema se diseña para que ningún fallo individual de ninguno de sus elementos (bombas, válvulas motorizadas, etc.) cause el fallo del sistema y por tanto el fallo del sistema de generación eléctrica, lo anterior basado en que es un sistema primordial para el funcionamiento de la Central, por lo que debe quedar respaldado.



**Fig. 2.3 Diagrama Típico para Bombas de AP en un GVRC.**<sup>21</sup>

El agua de alimentación para cada GVRC será tomada de los domos de baja presión y será enviada por las bombas de agua de alimentación hacia el economizador de alta presión y hacia el economizador de media presión, en función de qué bomba de agua de alimentación se trate.

#### **2.4.1 Descripción del Sistema de Agua de Alimentación (Empalme I).**

El sistema de agua de alimentación consiste en:

- Dos (2) bombas de agua de alimentación de alta presión de 100% de capacidad por cada GVRC, una en operación y otra de respaldo. Estas bombas cuentan con un variador de velocidad del tipo turbocople hidrodinámico con actuador electrohidráulico.
- Dos (2) bombas de agua de alimentación de media presión de 100% de capacidad por cada GVRC, una en operación y otra de respaldo.
- Un sistema de tuberías para conectar las bombas en las respectivas secciones de los GVRC's.

#### **2.5 Sistema Generador de Vapor por Recuperación de Calor (GVRC).**

El Generador de Vapor por Recuperación de Calor (GVRC) tiene como función generar el vapor necesario para el ciclo de vapor de la central aprovechando para ello el calor que contienen los gases de escape de las turbinas de gas. El vapor es generado en tres niveles de presión (alta presión, media presión y baja presión) para alimentar con cada uno de ellos cada cuerpo de la turbina de vapor.

El sistema de la central de ciclo combinado cuenta con dos unidades GVRC, una por cada turbina de gas.

<sup>21</sup> Elaboración Propia.

### **2.5.1 Descripción del Sistema Generador de Vapor por Recuperación de Calor (Empalme I).**

El Generador de Vapor por Recuperación de Calor será fabricado por CERREY, y está compuesto por los siguientes componentes:

1. Partes a presión para el agua de alimentación y el vapor generado, distribuidas en tres circuitos (uno de alta presión, uno de media presión y uno de baja presión):
  - Tres (3) sobrecalentadores de alta presión, uno (1) de media presión y uno (1) de baja presión.
  - Dos (2) recalentadores de media presión.
  - Tres (3) evaporadores, uno (1) en cada nivel de presión.
  - Un (1) domo de vapor de alta presión, uno (1) de media presión y uno (1) de baja presión.
  - Cuatro (4) economizadores de alta presión y dos (2) de media presión.
  - Dos (2) precalentadores de agua de alimentación de baja presión.
2. Conductos para los gases de escape de la turbina de gas en los que se incluyen:
  - Juntas de expansión a la entrada de los gases.
  - Conducto de entrada del GVRC.
  - Paneles de la cubierta de los módulos del GVRC.
  - Junta de expansión de la chimenea.
  - Chimenea.
3. Equipos auxiliares:
  - Desgasificador tipo integral, integrado en el domo de baja presión.
  - Tanque de purgas continuas.
  - Tanque de purgas intermitentes.
  - Bombas del sistema de recirculación y sus motores.
4. Tuberías, válvulas e instrumentación.
5. Acero estructural, plataformas, escaleras y barandales.

El Generador de Vapor por Recuperación de Calor se encarga de tomar el agua de alimentación y tomando el calor de los gases de escape de la turbina de gas, calentarla para generar vapor.

Para ello, los GVRC's toman agua de la alimentación del condensado y la precalientan antes de enviarla al domo de baja presión, el cual lleva el desgasificador integrado. De este domo se toma el agua que se alimentará a las bombas de agua de alimentación tanto de alta presión como de media presión. También se toma el vapor de baja presión que, una vez sobrecalentado, se envía a la turbina de vapor.

El agua de alimentación tanto de alta como de media presión pasa por unos economizadores antes de entrar al domo de vapor correspondiente y pasar por el evaporador para generar vapor de ese nivel de presión.

Este vapor se pasa por los sobrecalentadores y se envía a la turbina de vapor. En el caso de media presión, al vapor sobrecalentado se le une el vapor recalentado frío y el conjunto pasa por los recalentadores antes de ir a la turbina de vapor.

El sistema cuenta con drenajes y venteos para extraer los excesos de agua y vapor, los cuales se dirigen a los tanques de purga y a la atmósfera.

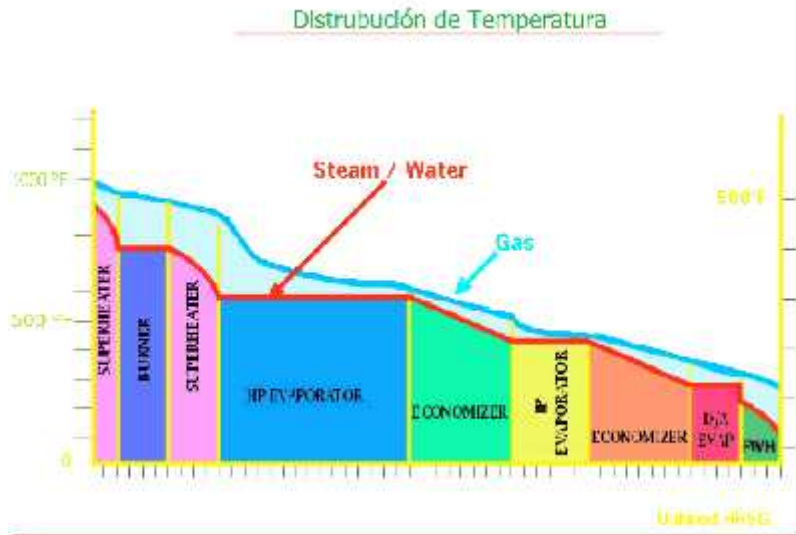


**Fig. 2.4 Componentes Principales de un GVRC.<sup>22</sup>**

El diseño del GVRC es a contraflujo, es decir el sentido del agua o vapor es contrario al sentido de flujo de los gases de combustión. En este tipo de arreglo la parte más caliente del flujo de agua o vapor enfrenta a la parte más caliente del flujo de gases de combustión y al inicio de dicho circuito la parte más fría del fluido o agua o vapor enfrenta a la parte más fría del flujo de gases.

Entonces, al haber una diferencia de temperaturas entre el fluido (agua o vapor) con respecto a los gases de combustión, entonces mayor será la transferencia de calor por unidad de superficie.

<sup>22</sup>Cerrey, "Heat Recovery Steam Generator - Simulación en CFD" (2015).



**Fig. 2.5 Diagrama de Distribución de Temperaturas en un GVRC.<sup>23</sup>**

Lo ideal es que la aproximación de temperaturas entre los gases y el fluido (agua o vapor) se mantengan cercanos, sin embargo entre más cercanos sean el área requerida para realizar la transferencia de calor se incrementa considerablemente, una buena práctica es mantener esta diferencia en 15-30 °C promedio dependiendo la etapa en el GVRC. Para aumentar el área de transferencia de calor se suelen incorporar aletas en la tubería que aumentan la absorción de calor al fluido de trabajo.

En el diseño del GVRC, es importante identificar los siguientes conceptos básicos para la aproximación de temperaturas:

"Pinch Point" - Se refiere al diferencial de temperatura, entre el fluido y los gases de combustión. Tiene particular importancia en los evaporadores, en los que tenemos flujos cruzados y toda la tubería del evaporador lleva temperatura de saturación. Debe cuidarse que en medida que vaya cayendo la temperatura de los gases de escape en el evaporador evitar que la temperatura mínima de los gases, sea suficientemente alta para cambiar de fase (evaporar) el fluido de trabajo.

"Approach Point" - Se refiere al diferencial de temperatura previo a la entrada del fluido al evaporador, respecto de la temperatura de saturación, conforme se aproxima a la temperatura de saturación estará próximo a evaporarse, por lo que en el diseño de los economizadores se debe tener cuidado de que no se presente evaporación que resulte en cavitación de las diferentes etapas de bombeo.

Otro elemento importante a considerarse será evitar la condensación de la base acida de los gases, también llamado "Punto de Rocío", ya que a esta temperatura la humedad contenida

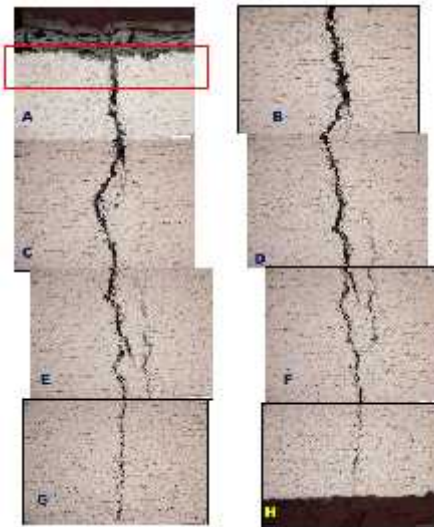
<sup>23</sup>Cerrey, "Ciclos Combinados y HRSG en la generación eléctrica" (2014).



en el flujo de los gases se condensa y pasa a estado líquido. Usualmente esta temperatura se encuentra alrededor de los 43.3 °C.

De presentarse "Punto de Rocío" en las partes frías del GVRC, los últimos módulos de tuberías, especialmente los precalentadores de baja presión pueden presentar corrosión por "Stress Corrosion Cracking (SCC)", para ello deben existir 3 factores:

- Humedad por "Punto de Rocío"  $H_2SO_4$ .
- Agente Corrosivo en el Azufre (S) del Gas Natural.
- Esfuerzos en las tuberías de operación por dilataciones térmicas y movimientos.



**Fig. 2.6 Microfotografía con agrietamientos por SCC en GRVC CC Manzanillo.<sup>24</sup>**

## **2.6 Sistema de Combustible.**

El Sistema de Combustible (gas natural) se encuentra presente en Centrales Termoeléctricas, Turbogas y de Ciclo Combinado.

Las funciones principales de este sistema son: recibir, acondicionar y transportar el gas natural que utilizan las Turbinas de Gas como combustible, para todo su rango de diseño.

### **2.6.1 Descripción del Sistema de Combustible (Empalme I).**

El sistema de suministro de combustible es el encargado de suministrar gas a las unidades Turbogeneradoras de Gas de la central, y garantiza que las condiciones de presión y temperatura del fluido sean las requeridas por la turbina.

<sup>24</sup> LAPEM, "Informe de Resultados GVRC Unidades 3, 4 y 5" (2014).

El sistema consta de un cabezal enterrado de suministro desde el punto de entrega, localizado cerca de la estación de regulación, medición y control del suministro de gas. Una vez se alcanza el área próxima al turbogenerador de gas número 2, la tubería se bifurca en dos cabezales, uno enterrado que se dirige a la unidad turbogeneradora número 1 y otro cabezal que se conducirá aéreamente. Una vez alcanzada la zona próxima al turbogenerador de gas número 1, la línea de suministro será igualmente aérea.

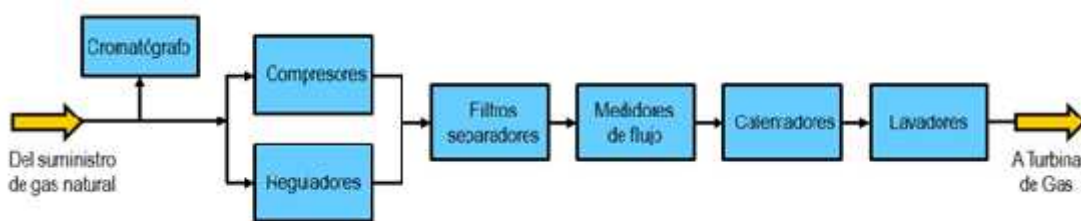
En cada una de las línea de suministro a las turbinas, se ubican los equipos de calentamiento y acondicionamiento de gas de natural. Para cada línea de suministro se incluirá, por turbogenerador degas, un intercambiador de calor para el calentamiento de gas y un equipo de filtración. Estos equiposproporcionarán el gas en las condiciones requeridas por las unidades turbogeneradoras de gas.

Adicionalmente cada línea de aporte de gas estará equipada con un tanque de drenajes, que recolectarálos condensados procedentes del equipo de filtración o del vaciado de los intercambiadores de calor.

Los intercambiadores de calentamiento de gas serán del tipo carcasa y tubos, donde el fluido empleado para el calentamiento es agua de alimentación proveniente del nivel de media presión de los generadores de vapor. La temperatura del gas se acomodará para satisfacer las condiciones de entrada de gas.

Los equipos de filtración se encargarán de acondicionar el gas natural a las característicasestablecidas por el fabricante de turbina gas.

La tubería del sistema será de Acero al carbono hasta los equipos de filtración, a partir de los cuales las tuberías de suministro de combustible a los turbogeneradores de gas serán suministradas en acero inoxidable.



**Fig. 2.7 Diagrama Típico del Sistema de Combustible de una Central de Ciclo Combinado.**<sup>25</sup>

## 2.7 Sistema de Enfriamiento Principal.

En una central termoeléctrica, puede utilizarse diferentes sistemas de enfriamiento, tal como enfriamiento húmedo (Torre de enfriamiento), enfriamiento seco (Aerogenerador) ó enfriamiento abierto.

<sup>25</sup> De la Mata, José Luis "Presentación Centrales: Sistema de Combustible" (2014).

En todos los tipos de sistemas de enfriamiento, la función principal, consiste en sustraer el calor latente al vapor que sale de la Turbina de Vapor, una vez que ésta ya transformó la mayor cantidad posible de energía térmica a mecánica y que es descargado al condensador, para que se condense a temperatura constante.

En una central, este sistema debe garantizar el buen desempeño de su operación de manera continua y sin limitaciones, debido a la importancia que tiene operar el equipo turbogenerador de vapor a su máxima capacidad, el cual tal como se ha mencionado, aporta la tercera parte de la energía eléctrica generada en la central.

En el siguiente capítulo, se describirá con mayor detalle los tipos de enfriamiento que existen y se profundizará en el sistema de enfriamiento utilizado en la Central de Ciclo Combinado Empalme I.



**Fig. 2.8 Central Termoeléctrica "Manuel Álvarez Moreno" Manzanillo, Colima.<sup>26</sup>**

## **2.8 Conclusiones del Capítulo 2.**

Es importante conocer los equipos principales de la central de ciclo combinado, identificando sus principales parámetros ya que el diseño de los equipos y sistemas auxiliares se determinarán a partir de los equipos principales.

---

<sup>26</sup> Comisión Federal de Electricidad (2014).

En las turbinas de gas los parámetros de desempeño están estrechamente relacionados con las condiciones climatológicas del sitio. Factores como la presión, la humedad relativa y la temperatura ambiente elevan o disminuyen el desempeño del equipo.

En la turbina de vapor la temperatura de enfriamiento juega un papel muy importante, ya que entre más baja sea la temperatura de la fuente de enfriamiento, mayor será el brinco entálpico para producir potencia en la turbina.

Es importante identificar los equipos auxiliares que aportan mayor cantidad de consumo eléctrico, ya que permite sensibilizar sobre la importancia de optimizar el diseño, equipos como el GVRC en el que las bombas de agua de alimentación son uno de los equipos auxiliares que mayor consumo eléctrico que tienen en la planta, deben ser optimizados en conjunto con el diseño térmico del GVRC.

Otro de los sistemas que deben ser optimizados por la grandes cantidades de flujo que utiliza, son las bombas de agua de circulación del sistema de enfriamiento principal, ya que en operación normal estos equipos para el caso de estudio bombean agua de mar en el orden de  $18 \text{ m}^3/\text{s}$  y su consumo se estima en 5 MW eléctricos.

## **Capítulo 3. Sistemas de Enfriamiento Principal (Agua de Circulación)**

Las centrales de generación de electricidad están constituidas por una serie de sistemas, cada uno de los cuales tiene una función determinada, siendo estos indispensable para el funcionamiento de la central; así los sistemas de agua de enfriamiento permitirán que los equipos principales y auxiliares de la central como son ventiladores, bombas, etc.; se mantengan a temperaturas adecuadas que les permitan operar en condiciones normales.

El sistema de agua de circulación tiene como función principal sustraer el calor latente al vapor, que ya trabajó en la turbina y que es descargado al condensador, para que se condense, a temperatura constante.

En este capítulo se describirá la función y la importancia de los sistemas que están proporcionando agua de enfriamiento tanto para la condensación del vapor de escape de la turbina, así como para aquellos equipos que por su condición operativa necesitan un flujo de agua de enfriamiento, centrándose en el enfriamiento principal, el cual tal como se ha mencionado maneja flujos importantes de agua, así mismo se profundizará en el tipo de equipos que utiliza cada sistema.

Existen 3 tipos de sistemas de enfriamiento principal (Agua de Circulación):

1. Sistema cerrado con torre de enfriamiento
2. Aerocondensador
3. Sistema abierto

### **3.1 Sistema cerrado con torre de enfriamiento.**

El sistema de enfriamiento cerrado con torre de enfriamiento es utilizados en diferentes tipos de centrales termoeléctricas como en centrales geotérmicas, nucleoelectricas, carboeléctricas, térmicas convencionales, de ciclo combinado y algunas veces en centrales de combustión interna que cuentan con recuperador de calor.

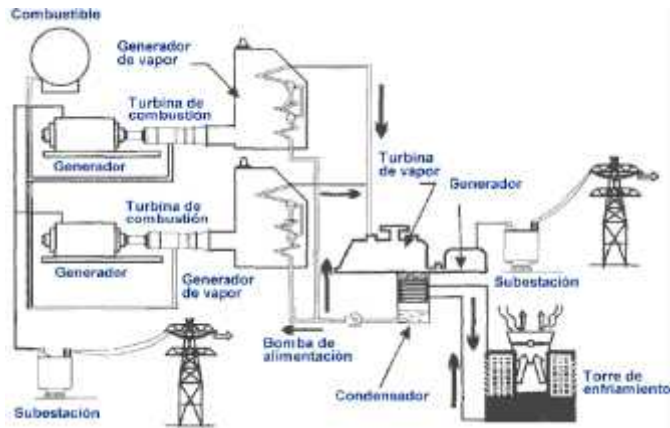
Cuando por razones de disponibilidad de agua, razones legislativas ó ambientales no se puede disponer de un cauce público del que se pueda extraer el agua fría y devolverla a mayor temperatura, se emplea un circuito con torres de enfriamiento. La principal ventaja es que el aporte de agua es mucho menor y por tanto, el impacto medioambiental de las centrales con torre de refrigeración también es menor.

El inconveniente es que el foco frío de la turbina de vapor, el condensador, está a un nivel energético mayor, por lo que el salto térmico es menor y el rendimiento de este tipo de centrales es también menor que en circuito abierto, por lo anterior resulta de gran importancia en el diseñar un sistema de enfriamiento con torre, el cual pueda disipar la mayor cantidad de energía contenida en el agua, fomentando un mayor diferencial de temperaturas entre el foco frío y el foco caliente durante el proceso de condensado.<sup>27</sup>

---

<sup>27</sup> OPEX Energy, "Sistema de Refrigeración Principal" (2013).

Adicionalmente este sistema está encargado de suministrar agua para refrigerar el equipo auxiliar de los equipos principales de la central como enfriadores de aceite, enfriadores de hidrógenos del generador etc.

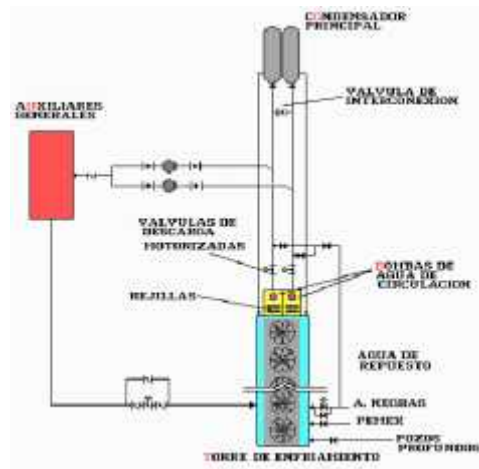


**Fig. 3.1 Diagrama simplificado de Central con Sistema de Enfriamiento con Torre.<sup>28</sup>**

Los equipos principales de este sistema son:

- Torre de enfriamiento
- Bombas de agua de circulación

El sistema de agua de circulación y cada uno de sus componentes se puede apreciar en la figura 3.2. En esta sección en primera instancia se procederá a describir cada uno de estos equipos, mencionando la función que desempeñan, sus parámetros operativos y las características principales de diseño, posteriormente se hará una descripción funcional del sistema describiendo la trayectoria de flujo.



**Fig. 3.2 Diagrama funcional simplificado del Sistema de Enfriamiento con Torre.<sup>29</sup>**

<sup>28</sup> Comisión Federal de Electricidad (2014).

<sup>29</sup> Comisión Federal de Electricidad (2014).

### 3.1.1 Torre de Enfriamiento.

Existen diferentes tipos de torre de enfriamiento, sin embargo la más utilizada es la torre de tiro inducido, usada en instalaciones de gran tamaño. Una de las principales ventajas de este tipo de torre es que puede ser bastante baja, disminuyendo así la energía requerida para el bombeo de agua a las partes altas de la torre.

Los elementos que componen una torre de refrigeración son prácticamente los mismos para las de tipo forzado e inducido. Los más importantes son los siguientes:

- Celdas individuales.
- Ventilador tiro Inducido.
- Charolas de distribución válvulas de descarga de agua caliente.
- Relleno.

El agua de circulación caliente, proveniente del condensador, llega a la torre y puede ser descargada en las charolas de recepción, a través de cabezales y sus válvulas de descarga, cuya apertura debe ser regulada de tal forma que el nivel de agua en todas las charolas sea el mismo, y para ello deben estar más abiertas las válvulas al final del cabezal que las del principio, para manejar un mismo flujo debido a que la presión del agua al inicio del cabezal es mayor que al final de este. El nivel en todas las charolas debe ser igual para obtener un enfriamiento uniforme en la torre, y con ello una alta eficiencia de operación.

Las charolas tienen una gran cantidad de orificios para que el agua sea distribuida uniformemente a través de su respectiva celda, cada orificio tiene una tobera de descarga para controlar el flujo hacia el relleno de la torre.

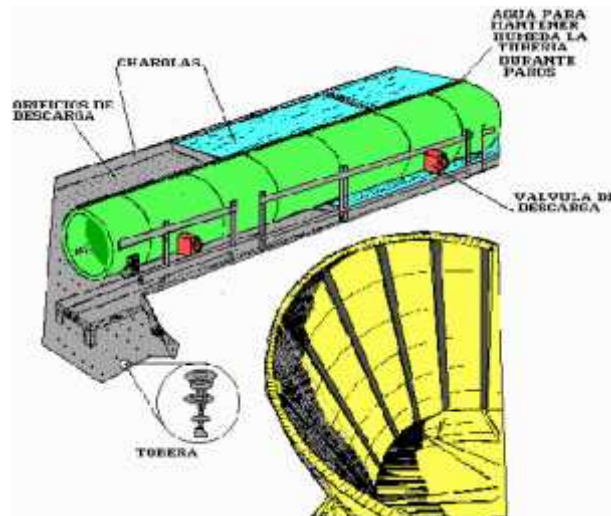


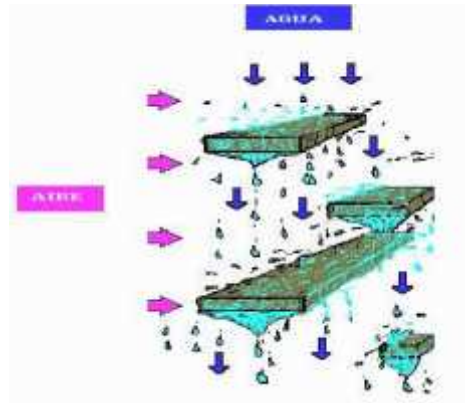
Fig. 3.3 Vista superior de las charolas de distribución.<sup>30</sup>

<sup>30</sup> CENAC Ixtapantongo, Dirección de Operación, "Sistema de agua de Enfriamiento" (2009).



El relleno del interior de la torre retarda la caída del agua caliente, desde las charolas de recepción hasta la pileta, con el propósito de aumentar el tiempo y superficie de contacto disponible en la torre.

Una parte del líquido que golpea la parte superior de un larguero salpica, pero gran parte fluye por sus contornos creando con esto una superficie de contacto mayor, que además, al fluir hacia la parte inferior y desprenderse, a todo lo largo del larguero, forma nuevas gotas aumentando con esto el área de contacto.



**Fig. 3.4 Arreglo del Relleno de la Torre.**<sup>31</sup>

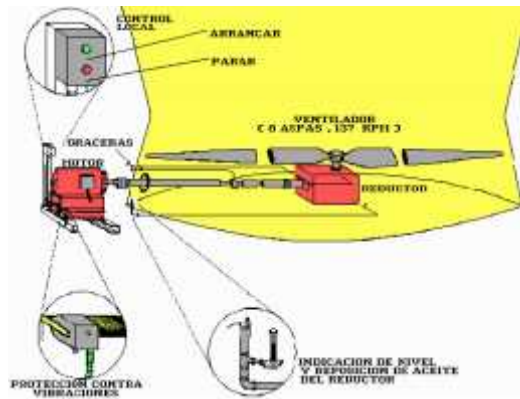
El proceso de intercambio de calor en la torre de enfriamiento consiste en una transmisión de calor del agua al aire. Los factores que provocan la transmisión de calor son:

1. La diferencia de temperaturas entre el agua y el aire - Por lo general mayor la del agua, por lo que cederá parte de su calor al aire.
2. La diferencia de presiones de vapor de agua existente entre la superficie de las partículas de agua y el que contiene el aire (humedad) - Esa diferencia de presiones ocasiona un desplazamiento de partículas de agua, por evaporación desde la gota de agua al aire, ya que la presión de vapor de agua de la gota es mayor que la presión de vapor de agua que contiene el aire. Lo anterior provoca que descienda la temperatura del agua y se incremente la del aire, al absorber la energía que le transfiere el vapor de agua desprendido, aumentando además su contenido de humedad. A este tipo de intercambio de calor se le conoce como transferencia de calor por difusión o transferencia de masa. Cuando el aire tiene poco contenido de humedad, la diferencia de presiones es mayor y ocasiona una mayor transmisión de calor por difusión y por el contrario, cuando el aire es muy húmedo, esa diferencia de presiones es pequeña y, por lo tanto, también lo será la transmisión de calor, llevando a cabo ésta principalmente por diferencia de temperaturas entre el aire y el agua.

Los ventiladores extraen el aire húmedo del interior de la torre, introduciendo al mismo tiempo aire del medio ambiente con un menor contenido de humedad estableciendo

<sup>31</sup> CENAC Ixtapantongo, Dirección de Operación, "Sistema de agua de Enfriamiento" (2009).

unflujoascendente que entra en contacto con el agua que descende. Por esto se dice que la torre es de tiro inducido y de contraflujo, Los ventiladores se encuentran instalados en la parte superior de la torre.



**Fig. 3.5 Ventilador Tiro Inducido de la Torre de Enfriamiento.**<sup>32</sup>

Tal como se ha mencionado, debido a que para el enfriamiento de agua gran parte de dicha agua se disipa en el aire por evaporación, siendo esta la principal fuente de pérdidas, sin embargo existen otras pérdidas de agua entre las que se encuentran:

- Purga continua
- Extracciones de fondo por medio de los drenes
- Venteo de Equipo auxiliar

Por lo que para determinar el flujo de agua de repuesto se debe considerar la siguiente ecuación, consistente en la suma de varios flujos de agua de repuesto:

$$\dot{Q}_{\text{Agua de Repuesto}} = \dot{Q}_{\text{Evaporación}} + \dot{Q}_{\text{Purgas}} + \dot{Q}_{\text{Drenes}} + \dot{Q}_{\text{Venteos}}$$

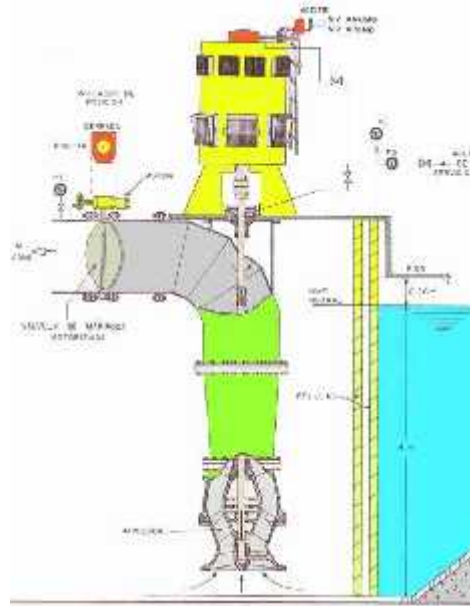
**Ecuación No.2 "Balance de Agua de Repuesto"**

### 3.1.2 Bombas de Agua de Circulación (Sistema cerrado con Torre de Enfriamiento).

El sistema debe contar con dos bombas de agua de circulación de impulsor tipo propela de flujo axial. Cada bomba tiene capacidad suficiente para suministrar agua para el 50% de carga, dado que son equipos muy grandes y costosos no se cuenta con uno de respaldo, sin embargo a falla de uno, se puede operar al 50% de carga.

Las bombas tienen acoplado un motor eléctrico operando en media tensión, así como chumaceras del motor lubricadas con aceite.

<sup>32</sup> CENAC Ixtapantongo, Dirección de Operación, "Sistema de agua de Enfriamiento" (2009).



**Fig. 3.6 Bomba de Agua de Circulación.**<sup>33</sup>

### 3.1.3 Descripción Funcional del Sistema cerrado con Torre de Enfriamiento.

Las bombas de agua de circulación succionan el agua de su cárcamo respectivo, el cual debe tener el nivel requerido, partiendo desde el fondo de acuerdo a la normativa (HI) Hydraulic Institute Standards.

Es importante mantener el nivel ya que de descender demasiado, no sólo se puede perder la carga de succión, sino también tener problemas de pérdida de sumergencia, distancia requerida de la parte inferior de la campana de succión, a la línea de nivel mínimo en el cárcamo. Esta pérdida puede provocar la formación de vórtices o remolinos en la trayectoria hacia el ojo de succión del impulsor, permitiendo la entrada de aire a la bomba, lo cual causaría daños al impulsor, similares a los causados por cavitación.

Las bombas descargan el agua de circulación a través de las válvulas motorizadas de descarga para enviarla hacia el condensador, por líneas independientes. De cada una de las líneas antes de llegar al condensador, se toma agua para alimentar el sistema de enfriamiento de auxiliares. También justo antes de entrar al condensador, ambas líneas de suministro de agua de circulación se interconectan por medio de una línea y una válvula de mariposa, la cual se utiliza únicamente para llenado de una sección del sistema cuando ya se encuentra en servicio la otra.

<sup>33</sup> CENAC Ixtapantongo, Dirección de Operación, "Sistema de agua de Enfriamiento" (2009).

El agua, al entrar a las cajas del condensador, por la parte inferior, se reparte hacia todos los tubos del condensador. El vapor que desciende de la turbina cede su calor latente al tubo y éste, a su vez lo cede al agua de circulación, la cual aumenta su temperatura gradualmente al circular a lo largo del condensador, para salir de éste por la parte superior de la caja de agua de salida y retornar a la torre de enfriamiento por la parte superior, para que al descender a la pileta se efectúe el intercambio de calor con el aire, enfriándose quedando lista el agua para ser enviada nuevamente al condensador.

Al comienzo de los cabezales de descarga a la torre de enfriamiento, se cuenta con líneas de venteo, sin válvulas de bloqueo. Estos venteos tienen la finalidad de romper el vacío que se pueda formar en los cabezales en el caso de que una o ambas bombas de agua de circulación se disparen con su válvula de descarga aún abierta. Al dispararse una bomba con la válvula de descarga abierta, el agua en los cabezales tiende a retornar, formando un vacío, lo cual puede ocasionar que la tubería se deforme y se destruya, lo anterior se evita con la entrada de aire por el venteo, el cual tiene la función de romper el vacío en el cabezal.

Los ventiladores utilizados en la torre deben de ser únicamente los necesarios con el fin de disminuir las pérdidas de agua por arrastre, tiempo de funcionamiento y consumo adicional de energía. No obstante, debe considerarse, que una alta temperatura en el agua de circulación, no sólo afectará el vacío del condensador, sino que también repercutirá en calentamiento del equipo refrigerado por este medio. Cuando se pongan en servicio ventiladores se debe buscar que queden distribuidos adecuadamente a lo largo de la torre, para que el enfriamiento del agua sea más uniforme y eficiente. Además, es necesario evitar poner en servicio varios ventiladores a la vez, sino hasta que pase el transitorio de arranque de cada uno de ellos, ya que, puede sobrecargarse el bus y dispararse los interruptores que lo alimentan.

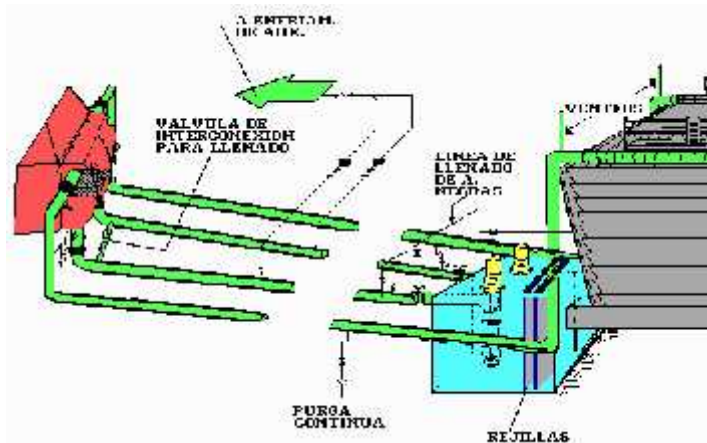


Fig. 3.7 Disposición general del sistema de agua de circulación.<sup>34</sup>

<sup>34</sup> CENAC Ixtapantongo, Dirección de Operación, "Sistema de agua de Enfriamiento" (2009).

### 3.2 Sistema de Enfriamiento principal seco con Aerocondensador.

De los sistemas de enfriamiento principal, el que emplea aerocondensadores es el menos agresivo con el medio ambiente, pero es el que tiene un coste más elevado y el que provoca en la planta una mayor disminución del rendimiento. Su funcionamiento se basa en el intercambio de calor entre el aire atmosférico y el vapor procedente de la turbina de vapor. Es muy parecido al sistema que emplea el radiador del automóvil. El vapor se hace pasar a través de unos haces tubulares que aumentan la superficie de contacto del vapor. Éste se enfría en contacto con el metal del aerocondensador, que a su vez es enfriado por la poderosa corriente de aire que provocan unos gigantescos ventiladores, colocados generalmente en el plano horizontal. La pérdida de rendimiento de la planta es consecuencia de la disminución del salto térmico en la turbina de vapor, al estar el foco frío de la turbina a una temperatura usualmente mayor. La pérdida puede cuantificarse, en unos 10 MW para una planta de 400 MW, sobre la potencia que alcanzaría una central igual refrigerada en circuito abierto. Por lo anterior este tipo de sistema suele evitarse sobre todo cuando se cuenta con disponibilidad de agua, por lo que para fines de este trabajo no se profundizará al respecto.

Este sistema de enfriamiento puede encontrarse presente en centrales de combustión interna, termoeléctricas convencionales, carboeléctricas, nucleoeeléctricas y de ciclo combinado.

El equipo principal de este sistema únicamente radica en el aerocondensador.



Fig. 3.8 Aerocondensador.<sup>35</sup>

<sup>35</sup> De la Mata, José "Presentación Centrales: Sistema de Combustible" (2014).

### 3.2.1 Aerocondensador.

Es un intercambiador de calor de tipo seco enfriado por aire por medio de ventiladores que forzan al aire a pasar por el exterior de tubos aletados por los que circula el vapor proveniente de la Turbinade vapor de baja presión.

Está dividido en módulos, cada uno con un ventilador y con haces de tubos aletados e inclinados conectados a un cabezal de vapor en su parte superior y al cabezal de agua de condensado en su parte inferior.

El agua de condensado es drenada a un tanque de captación y de ahí es succionada por las bombas de condensado para enviarla nuevamente al ciclo.<sup>36</sup>

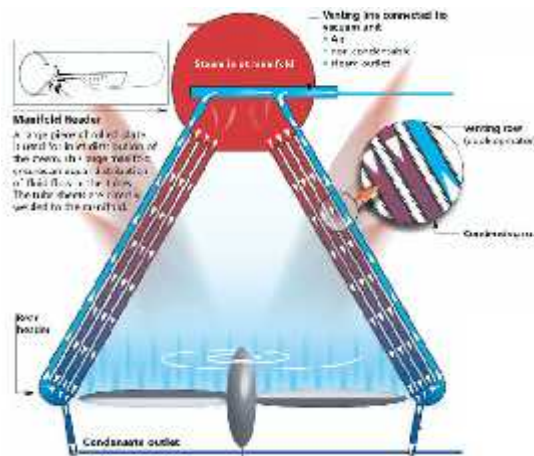


Fig. 3.9 Aerocondensador.<sup>37</sup>

### 3.3 Sistema de Enfriamiento principal abierto.

El sistema de enfriamiento abierto con agua de mar, al igual que otros sistemas de enfriamiento puede utilizarse en diferentes tipos de centrales, usualmente en aquellas centrales cuya ubicación geográfica y la legislación así lo permite. Este sistema como cualquier sistema de enfriamiento principal para un ciclo Rankine, es el encargado sustraer el calor del vapor que ya trabajó en la turbina (y que es descargado al condensador), para que sea posible su condensación, utilizando para tal efecto como medio de enfriamiento agua de mar.

Este sistema se puede decir que tiene dos funciones más con el uso de un sistema de bombeo adicional, ya que en los arranques de unidad es el encargado de llenar las cajas del condensador lado agua de mar; y en operación normal su función es llevar el agua de

<sup>36</sup> Reyes, Ricardo, "Cálculo de un Aerocondensador para la Unidad 5 de la Central Termoeléctrica Gral. Francisco Villa" (Diciembre 2008)

<sup>37</sup> De la Mata, José "Presentación Centrales: Sistema de Combustible" (2014).

enfriamiento a los enfriadores del sistema de circuito cerrado y a la evaporadora de agua de mar, siendo esta última la encargada de destilar el agua de mar para que después de ser desmineralizada pueda ser utilizado con el fluido del proceso.

La ventaja que tiene utilizar este tipo de sistema, consiste en que el foco frío del agua de enfriamiento, está a un nivel energético menor ya que al considerar que no es recirculada permanece a temperaturas menores y reduce el consumo de sistemas auxiliares que implicaría tener una torre de enfriamiento para bajar temperatura así como permite un mayor brinco entálpico en la turbina de vapor. Los equipos principales de este sistema, son los siguientes:

- Canal de llamada (Si aplica)
- Rejas bastas
- Mallas giratorias
- Bombas de agua de circulación
- Condensador principal

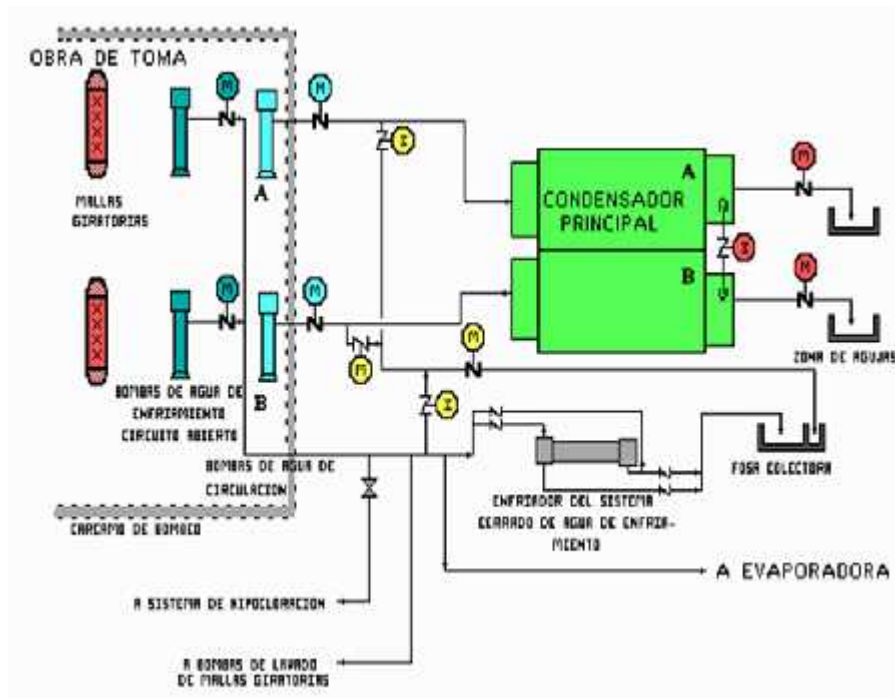


Fig. 3.10 Diagrama Simplificado de Sistema Abierto de Agua de Mar.<sup>38</sup>

<sup>38</sup>CENAC Ixtapantongo, Dirección de Operación, "Sistema de Agua de Circulación" (2009).

### 3.3.1 Canal de llamada

La función de este canal es transportar el agua de mar desde la obra de toma hasta el cárcamo de bombeo.

Debido a la gran cantidad de sólidos en suspensión que contiene el agua de mar, en el canal se encuentra instalado un sistema de filtración, el cual está constituido de rejas fijas y mallas giratorias. Lo anterior es con la finalidad de que el agua llegue hasta el cárcamo de bombeo libre de basura o sólidos en suspensión, los cuales pueden causar taponamiento en el condensador y dificultar la transferencia de calor.

### 3.3.2 Rejas Bastas.

Las rejas bastas se encuentran ubicadas en el canal de llamada y su función es evitar el paso de sólidos mayores que 30 mm, que pueden ser arrastrados por el agua de mar hacia el cárcamo de bombeo.

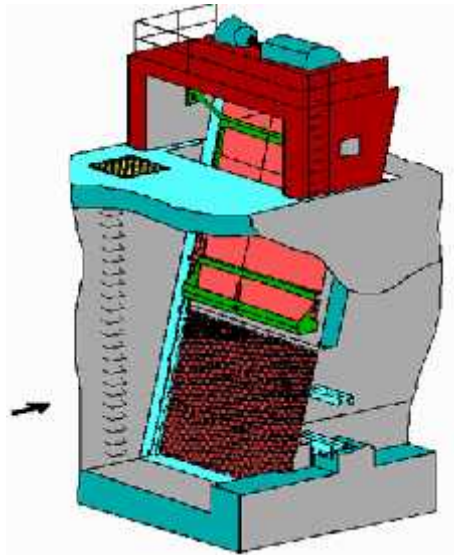


Fig. 3.11 Rejas Bastas.<sup>39</sup>

### 3.3.3 Mallas Giratorias.

Las mallas giratorias también se encuentran ubicadas en el canal de llamada después de las rejas bastas y su función es detener los sólidos pequeños que se hayan filtrado a través de las rejas bastas.

---

<sup>39</sup>CENAC Ixtapantongo, Dirección de Operación, "Sistema de Agua de Circulación" (2009).





### 3.3.5 Condensador Principal.

En este equipo se realiza la condensación del vapor de escape de la turbina de baja presión, ya que al pasar el agua de circulación por el interior de los tubos del condensador se sustrae el calor latente del vapor que ya trabajó en la turbina, lo cual provoca, que éste cambie al estado líquido.

La mayoría de los condensadores, constan de dos secciones de un solo paso, es decir; que el agua de circulación efectúa un solo recorrido a través del condensador. En la figura 3.13 se muestra un condensador tipo de una central termoeléctrica, en la que se puede apreciar la disposición de la tubería del condensador por la cual pasa el agua de circulación con respecto a la descarga del vapor de la turbina de baja presión.

Derivado de que el agua de mar tiene muchas impurezas las cuales con el tiempo se van incrustando en el interior de los tubos del condensador. Esto dificulta la transferencia de calor repercutiendo en el vacío y en la carga de la unidad. Dicho problema es conocido como "condensador sucio", y cuando se presenta, el operador tiene la opción de efectuar un retrolavado al condensador, el cual consiste en hacer circular el agua (en los tubos de la caja seleccionada) en sentido contrario, provocando el desprendimiento de materia y microorganismos que se encuentran adheridos en la superficie interna de los tubos y cajas del condensador.

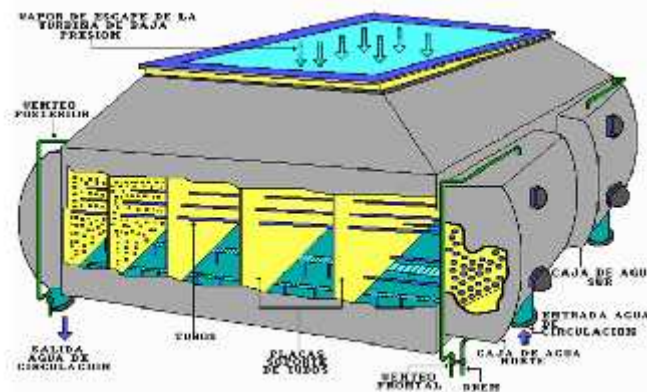


Fig. 3.14 Condensador tipo con doble caja de Agua.<sup>42</sup>

### 3.4 Conclusiones del Capítulo 3.

En este capítulo se plantearon las diferentes posibilidades en tipo de enfriamiento, lo cual dependerá de las condiciones y limitantes del sitio. Los sistemas de enfriamiento cerrados con torre son utilizados principalmente cuando las condiciones del sitio no permiten el uso de

<sup>42</sup>CENAC Ixtapantongo, Dirección de Operación, "Sistema de Agua de Circulación" (2009).

un circuito abierto que no dependa de equipos auxiliares adicionales para bajar la temperatura del agua de enfriamiento, lo cual disminuye la eficiencia de la planta.

Los sistemas de enfriamiento de aerocondensador son una alternativa que únicamente tendrán que ser utilizados cuando existen limitaciones de agua, ya que suelen ser los menos eficientes y del mismo modo impactan directamente en la eficiencia de la planta.

Cuando las condiciones del sitio lo permiten se debe considerar como principal alternativa los sistemas abiertos, donde el agua de enfriamiento de la fuente una vez circulada por el condensador es descargada en el sumidero, el cual típicamente puede ser la misma fuente, pero que al ser infinitamente grande (océanos, lagos etc.) no afecta la temperatura del agua de entrada al condensador.

El sistema de enfriamiento abierto, es el más eficiente por la diferencia de temperatura que constantemente tendrá el agua de enfriamiento, sin embargo puede requerir de instalaciones o infraestructura necesaria para usar agua de océano o de lago, tal es el caso de equipos de limpieza necesarios para filtrar el agua que será utilizada. Adicionalmente se requiere el uso de químicos para evitar que organismos de agua proliferen en las tuberías del sistema de enfriamiento, para lo cual se contempla dosificación de hipoclorito o maniobras de operación como el retrolavado.

## **Capítulo 4. Diseño del Sistema de Enfriamiento Principal (Empalme I)**

En este capítulo, se desarrolla el diseño del sistema de enfriamiento principal, haciendo especial hincapié en la importancia que tiene el diseño óptimo del mismo.

Este sistema maneja un flujo importante de agua de mar el cual deberá optimizarse, dado que en operación normal este sistema prácticamente operara los 30 años de vida útil de la central. El propósito del presente trabajo radica en reducir las pérdidas que este sistema pueda tener como perdidas lineales en tuberías, perdidas por accesorios, perdidas por la geométrica física del sistema etc.; reduciendo en gran medida el consumo de auxiliares, lo que se traduce en una mayor eficiencia, la cual como en capítulos anteriores ya se ha mencionado se reflejará en un precio económico de generación, ofertando una energía más barata al sistema eléctrico nacional.

Es importante realizar todas las consideraciones necesarias, especialmente en los equipos de bombeo actualmente en el mercado que puedan operar también en un punto eficiente para los flujos de agua de diseño.

Adicionalmente, habrá que hacer consideraciones respecto a los sistemas de mantenimiento que permitan realizar maniobras para la limpieza del condensador, ya que el agua de mar puede producir ciertos tipos de microorganismos que reduzcan la eficiencia del sistema.

#### **4.1 Funciones del Sistema.**

La función del sistema de enfriamiento principal es disipar la carga térmica del condensador, derivada de la condensación del vapor de la escape de la turbina de vapor, en todo rango de diseño, incluyendo operación en modo Bypass del 100% del vapor generado en los GVRC's operando al 100% de carga. El agua de enfriamiento tomará la carga térmica del condensador y la descargará en el mar.

Adicionalmente se cuenta con un sistema de limpieza de bolas de esponja (Taprogge) que se encargará de mantener limpios los tubos del condensador para así asegurar una buena transferencia de calor. El sistema cuenta con la instalación de tubería necesaria para operar el circuito en retrolavado con choque térmico, para evitar la proliferación de vida marina en los tubos del condensador y las tuberías.

#### **4.2 Definición del Sistema.**

El sistema de enfriamiento principal está constituido por un circuito abierto que cuenta con el siguiente equipo:

- Dos (2) bombas de agua de circulación del 50% de capacidad operando en paralelo.
- Una (1) obra de toma de agua desde el mar, común para las bombas de agua de circulación y las bombas del sistema de abastecimiento de agua de mar.
- El sistema de filtrado de la obra de toma.

- Un (1) pozo de sellos donde se descarga el agua de mar tras pasar por el condensador.
- Una (1) fosa de mariscos para el sistema de retrolavado con choque térmico.
- El sistema de limpieza de tubos del condensador mediante bolas.
- El sistema de cebado del condensador.
- Las tuberías y válvulas necesarias para el correcto funcionamiento del sistema.

El sistema toma agua de mar a través de la obra de toma. El agua se filtra mediante equipos mecánicos de limpieza y se acumula en la fosa de bombeo, de donde succionan las bombas de aguada circulación y las de abastecimiento de agua de mar. El agua de circulación es enviada al condensador donde se condensa el vapor del ciclo y se retorna a los generadores de vapor por recuperación de calor. A la salida del condensador el agua de circulación es enviada al pozo de sellos y de ahí a la toma de descarga nuevamente al mar.

El sistema cuenta con un sistema de limpieza con bolas, el cual las toma del colector de bolas y las inyecta en el flujo de agua de circulación antes de entrar al condensador. Las bolas entran en los tubos y tras limpiarlos son recogidas a la salida por un separador que las devuelve al colector.

#### **4.3 Descripción de la Obra de Toma.**

La obra de toma se encarga de acondicionar el agua de mar que llega a la central. Al llegar a la zona de obra de toma el canal se divide en dos canales longitudinales. En cada uno de ellos el agua se encuentra con los siguientes elementos antes de llegar al canal transversal:

- Una compuerta de aislamiento del canal longitudinal por el lado de llegada de agua.
- Una reja basta para la eliminación de sólidos grandes.
- Una malla giratoria para la eliminación de sólidos más pequeños. Tiene instalado un sistema automático de limpieza por aspersion, el cual obtiene agua de la descarga de dos bombas horizontales del 100% de capacidad cada una que succionan del canal transversal. La línea de la bomba a los aspersores está controlada por una válvula de retención y una válvula de control.
- Una compuerta de aislamiento del canal longitudinal por el lado de bombeo.

En el canal transversal, común para las cuatro bombas (dos bombas de agua de circulación del sistema de enfriamiento principal y 2 bombas de alimentación del sistema de abastecimiento de agua), el agua es rociada por el sistema de hipocloración para su acondicionamiento químico. Después, el agua entra en las fosas de bombeo independientes para cada bomba.

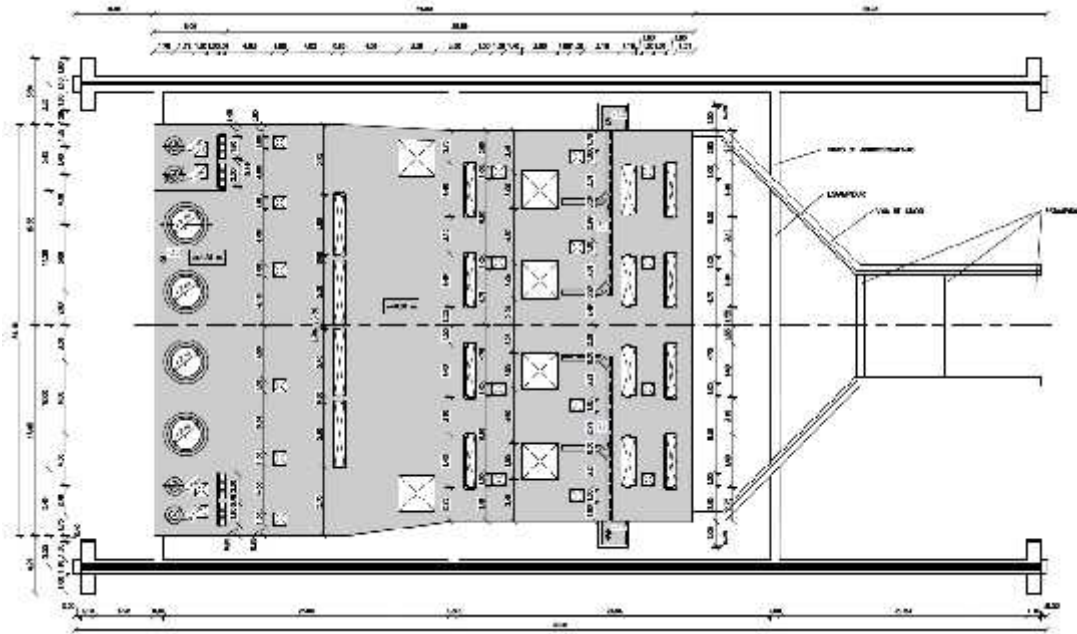


Fig. 4.1 Planta Cárcamo de Bombeo.<sup>43</sup>

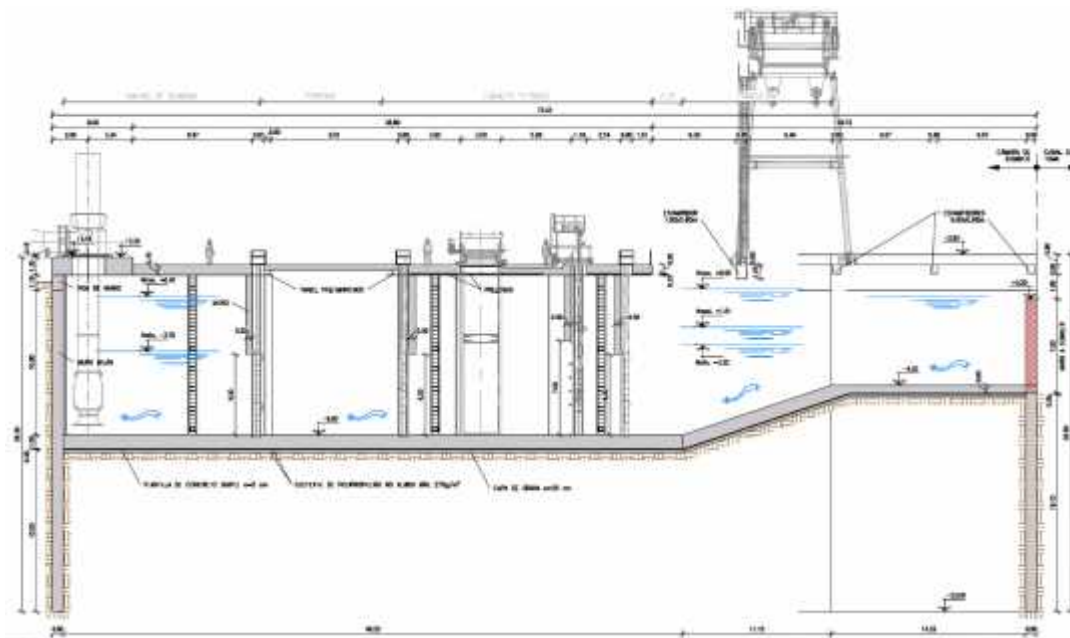


Fig. 4.2 Elevación Cárcamo de Bombeo.<sup>44</sup>

<sup>43</sup>Proyecto CC Empalme I - CFE, "Cámara de Bombeo" (2016).

<sup>44</sup>Proyecto CC Empalme I - CFE, "Cámara de Bombeo" (2016).

#### **4.4 Descripción de las Bombas de Agua de Circulación.**

El sistema cuenta con dos (2) bombas de agua de circulación del 50% de capacidad cada una para alimentara las cajas de agua del condensador. Las bombas son verticales, de cárcamo húmedo, con un solo paso de flujo axial o mixto y de velocidad constante.

Las bombas succionan directamente del cárcamo de bombeo que se llena con el agua de mar ya acondicionada en la obra de toma. A la descarga de las bombas se encuentran instaladas una junta de expansión, un venteo para sacar el aire acumulado en las tuberías durante el arranque y una válvula de mariposa motorizada.

Tras este punto se encuentra la conexión de la línea de descarga a la fosa de mariscos que se usará durante la operación de retrolavado del condensador, mientras que en operación normal permanecerá aislada. Eneste punto también se conecta las líneas de llenado del circuito de enfriamiento principal que se realizará con las bombas de abastecimiento con agua de mar antes del arranque de la planta.

Tras pasar por las bombas el agua se dirige al condensador que se encarga de recibir el calor del vapor de escape para que éste condense.

#### **4.5 Elementos de la Operación normal.**

La línea del agua del sistema de enfriamiento principal se dirige desde la bomba hacia el condensador. Cada bomba de agua de circulación alimenta a una de las dos cajas de agua de las que se compone. Cada línea cuenta con una válvula de mariposa, el punto de inyección de las bolas del sistema de limpieza del condensador y una junta de expansión antes de entrar a la caja de agua del condensador.

La línea que sale de la caja de agua dispone de una junta de expansión, un desvío para realizar elretrolavado, una válvula de mariposa y el punto de recogida de las bolas del sistema de limpieza del condensador, y descarga en un colector común a las dos cajas de agua.

El colector conduce el agua del sistema de enfriamiento principal al pozo de sellos, desde donde se envía devuelta al mar por el canal de descarga.

#### **4.6 Elementos de la Operación en retrolavado con Choque Térmico**

El retrolavado es un método que consiste en invertir la dirección del flujo de agua de circulación a través de una de las cajas de agua del condensador con el objeto de barrer suciedades y organismos marinos acostumbrados al flujo de agua en una sola dirección; es decir el flujo utilizado en una caja de agua del condensador, es recirculado por la otra caja de agua generando un incremento de temperatura en dos etapas. El choque térmico es el método empleado para impedir la proliferación de especies marinas resistentes al hipoclorito



de sodio en el condensador, donde se recircula a contraflujo por una caja de agua, el flujo que ya ha circulado por la otra para que este incremento de temperatura mayor al de operación normal de muerte a estas especies.

Para poder hacer funcionar el sistema en retrolavado se instalan los siguientes elementos:

- Una válvula de mariposa a la descarga de cada bomba de agua de circulación.
- Línea de desvío tras la válvula de mariposa anterior, uniendo ambas líneas entre sí y éstas con la fosa de mariscos. Tiene instaladas dos válvulas de mariposa, una por cada línea de agua de circulación.
- Línea de desvío a la salida de las cajas de agua uniendo ambas líneas de salida, controlada con una válvula de mariposa.
- Válvulas de mariposa en cada una de las líneas situadas después de la línea de desvío anterior.

Durante la operación en retrolavado con choque térmico sólo opera una de las dos bombas de agua de circulación y el agua se desagua en la fosa de mariscos en vez de en el pozo de sellos.

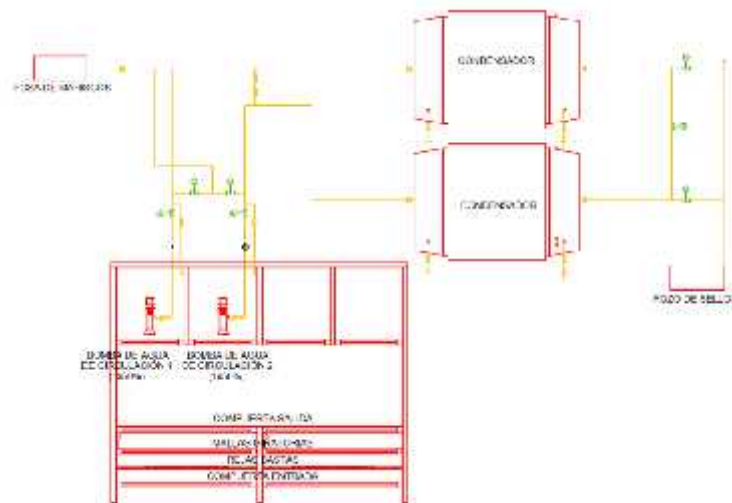


Fig. 4.3 Diagrama de Flujo simplificado del Sistema de Enfriamiento.<sup>45</sup>

#### 4.7 Entradas para el Diseño del Sistema de Enfriamiento y sus componentes.

El sistema de agua de enfriamiento principal se diseña para disipar al cuerpo de agua la carga térmica derivada de la condensación del vapor de la descarga de la turbina de vapor de baja presión en todo el rango de diseño, incluyendo la operación con derivación (bypass) del 100% del vapor generado en los GVRC's, operando estos al 100%.

<sup>45</sup>Proyecto CC Empalme I - CFE, "Diagrama de Flujo" (2016).

Se tendrán dos bombas de circulación en paralelo, teniendo cada una de ellas el 50% de capacidad.

El flujo de diseño del conjunto de las dos bombas corresponde con el flujo necesario para disipar la carga térmica derivada de la condensación en la situación más crítica. La presión a flujo cero (Shut-off) no excederá del 160% de la presión de descarga en el punto de diseño.

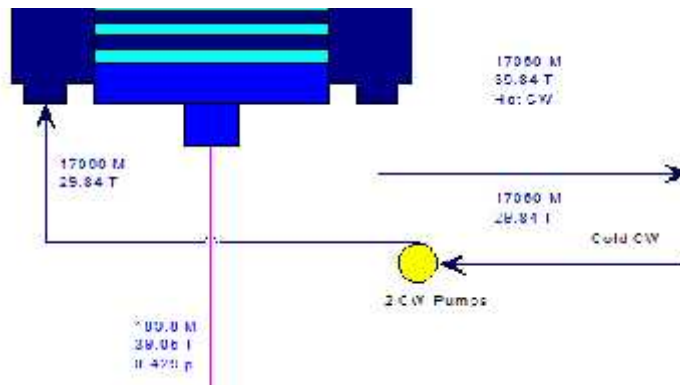
La carga dinámica considerará en todo el rango de diseño la caída de presión de los equipos, las pérdidas por fricción en todo el sistema y la carga estática desde el nivel mínimo de agua en la obra de toma hasta la elevación de descarga más alta del sistema.

Las tuberías y ductos estarán diseñados en base al gasto que suministran las bombas de agua de circulación, así como a la velocidad permitida y presión máxima para este servicio. En la tubería de descarga de cada una de las cajas de agua del condensador principal y antes de que éstas descarguen hacia un cabezal común, se tendrá una junta de expansión y una válvula de mariposa operada con motor eléctrico.

#### 4.8 Cálculo del Sistema de Enfriamiento Principal.

##### 4.8.1 Determinación del Flujo, Temperatura y Presión de Diseño.

Para determinar el flujo de diseño, ha sido considerado el flujo necesario para la operación más crítica, siendo este el de la operación al 100% de carga a condiciones de verano con una Temperatura de agua de mar de 29.84°C y un  $\Delta T$  máximo de 7°C a la salida del Condensador por criterio de diseño, por lo que del balance de masa y energía para dicha condición, se obtiene<sup>46</sup> un flujo de (61'416,000 kg/seg) ó 17.06 m<sup>3</sup>/s @  $\rho_{relativa}=1.0216$ .



T = Temperatura (°C), M = Flujo (kg/s), P = Presión (Bara), H = Entalpía (kJ/kg)

**Fig. 4.4 Balance de Masa y Energía en Condensador (100% carga Diseño de verano).**<sup>47</sup>

<sup>46</sup> Usando el modelo de simulación de la central, en base al GT Master, versión 25. El modelo completo está en el anexo 1.

<sup>47</sup> Proyecto CC Empalme I - CFE, "Balance Térmico Diseño de Verano" (2016).

Las condiciones de temperatura y presión de operación a considerar para el diseño del Sistema de Enfriamiento Principal son las indicadas en los balances térmicos indicados en el Anexo 1, así mismo ya que el sitio se encuentra al nivel del mar se considera 2.7 MSNMM por lo que le corresponde una Presión Atmosférica de 1.01268 bar(a).

#### 4.8.2 Consideraciones Adicionales

El caudal requerido para cada bomba es de  $8.53\text{m}^3/\text{s}$  por cada bomba, siendo el flujo total de  $17.06\text{m}^3/\text{s}$ . A dicho caudal total se le añade en la línea hacia pozo de sellos un total de  $0.86\text{m}^3/\text{s}$  procedente del sistema de bombas auxiliares para el caso de operación normal con 2 bombas.

Los niveles de agua en el cárcamo de bombeo están referenciados al Nivel Medio del Mar +0.000 m.

El nivel de agua mínimo que se puede presentar en el cárcamo de Bombeo, es **-3.700 MSNMM** siendo este el nivel de diseño que se toma para el sistema.

Es importante señalar del diferencial de temperatura entre la entrada y la salida del agua de enfriamiento no puede ser mayor a  $7^\circ\text{C}$  por normativa ambiental, por lo que se busca tener valores muy aproximados al mismo, reducir del flujo de agua necesario para disipar la carga térmica en el condensador.

Para determinar la carga dinámica total se utiliza la Ecuación de Bernoulli simplificada y despejada de la siguiente forma:

$$H_D = H_f + (Z_2 - Z_1)$$

**Ecuación No. 2 Ecuación de Bernoulli para el sistema<sup>48</sup>**

Donde:

$H_D$  = Carga Dinámica Total del Sistema (m)

$H_f$  = Perdidas del sistema en accesorios y tuberías ( $H_{f_{\text{Cond.}}} + H_{f_{\text{Limp.}}} + H_{f_1} + H_{f_2} + H_{f_3} + H_{f_4} + H_{f_5}$ ) (m)

$Z_2 - Z_1$  = Carga estática por diferencia geométrica (m)<sup>49</sup>

---

<sup>48</sup>Lencastre, "Hidráulica General" (1962).

<sup>49</sup>

#### 4.8.3 Arreglo de Tuberías

Las tuberías de agua de circulación están diseñadas en base al flujo que suministran las bombas de agua de circulación, así como a la velocidad permitida y presión máxima para este tipo de sistemas, siendo esta 3.05 m/s.

Cada tubería de descarga del sistema principal se diseña en 84" y conducen independientemente el agua de circulación hasta la caja de agua correspondiente del condensador principal, conectándose a la caja de agua de entrada del condensador a través de una válvula de mariposa de 84" operada con motor eléctrico y una junta de expansión. A la salida de condensadores se dispone de un by-pass de 78" entre ambas tuberías para permitir la operación en retrolavado. Dicho by-pass tiene una válvula de mariposa de 78" que permanecerá cerrada en operación normal. Seguidamente del by-pass se disponen de válvulas de mariposa de 78" para cada línea para permitir el funcionamiento en retrolavado. Finalmente ambas tuberías 78" finalizan su recorrido en una única tubería de 114", que conduce el agua hasta el pozo de sellos.

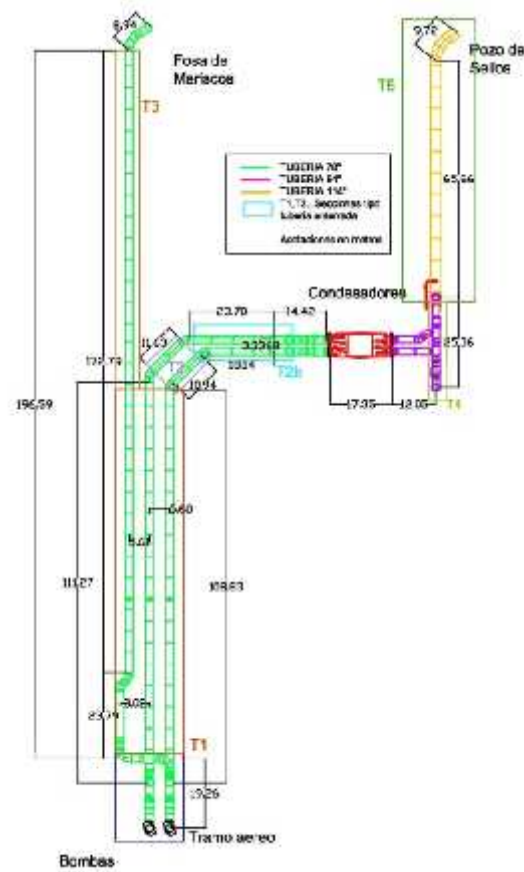


Fig. 4.5 Arreglo de Tuberías del Sistema, indicando longitudes en metros.<sup>50</sup>

<sup>50</sup> Proyecto CC Empalme I - CFE, "Arreglo de Tuberías del Sistema de Enfriamiento Principal" (2016).

#### 4.8.4 Consideraciones en el Condensador y Sistema de Limpieza de bolas.

A partir de la información del suministrador (Swecomex), se obtienen los siguientes parámetros de diseño para un flujo de operación normal de  $8.53 \text{ m}^3/\text{s}$  por cada bomba:

- Elevación máxima de la caja de agua del condensador +8.60 m
- Máxima pérdida de carga en condensador  $H_{f_{\text{Cond.}}} = +5.68 \text{ m}$
- Máxima pérdida de carga por sistema de limpieza de bolas  $H_{f_{\text{limpieza}}} = +0.79 \text{ m}$

#### 4.8.5 Pérdidas Lineales en Tuberías

Para determinar las pérdidas lineales en tuberías, se utiliza la fórmula de Darcy-Weishbach mediante la fórmula de Colebrook-White, en el siguiente cuadro.

	Acero		
	Rugosidad Mín.	Rugosidad Int.	Rugosidad Max.
Twort. Ratnayaka y Brandt, 2000	0.03	0.06	0.15
Lencastre, 1987	0.9	1.5	2.4
	0.3	0.6	0.9
	0.15	0.2	0.3
	0.06	0.1	0.15
	0.05	0.1	0.15
	0.01	0.06	0.3
Asetub, 2001	0.03		0.05
Mayo, 1988		0.05	
Siderúrgica del Tubo Soldado, 1996	0.05		0.007
Osuna, 1987		0.046	
Granados, 1986	0.06		0.08
Pürschel		0.05	

**Cuadro 4.1 Valores de Rugosidad Absoluta k (mm) según distintas fuentes** <sup>51</sup>

Del cuadro anterior se determina un valor de  $k=0.5$  al considerarse una tubería nueva en óptimas condiciones y al ser un valor conservador basado en la diferentes literaturas consultadas. Así mismo se considera una viscosidad cinemática de  $7.9314\text{E-}07 \text{ m}^2/\text{s}$  @33°C. <sup>52</sup>

<sup>51</sup> Proyecto CC Empalme I - CFE, "Arreglo de Tuberías del Sistema de Enfriamiento Principal" (2016).

<sup>52</sup> International Tower Tank Conference, "Fresh water and sea water properties" (2011).

Tubería	Diám. (mm.)	Área (m2)	Flujo (m3/s)	k (m)	V (m/s)	v (m2/s)	Re	Long. (ml)
78	1981	3.08	8.53	0.0005	2.77	7.9314E-07	6.9116E+06	60
84	2134	3.58	8.53	0.0005	2.39	7.9314E-07	6.4179E+06	190
114	2896	6.59	17.92	0.0005	2.72	7.9314E-07	9.9348E+06	80

**Cuadro 4.2** Calculo de propiedades de tuberías para perdidas lineales <sup>53</sup>

Con los valores obtenidos y con ayuda de la hoja de cálculo se realizan las iteraciones para determinar el valor del factor de fricción que satisface la igualdad.

	COLEBROOK WHITE			DARCY-WEISBACH		
	$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log_{10} \left( \frac{k/D}{3.7} + \frac{2.51}{Re\sqrt{\lambda}} \right)$			$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g}$		
	Ecuación No. 3 Colebrook White <sup>54</sup>			Ecuación No. 4 Darcy-Weisbach <sup>55</sup>		
(78")	f=	0.014534158	1	Hf <sub>1</sub> =	<b>0.17176</b>	<b>m</b>
(84")	f=	0.014332250	1	Hf <sub>2</sub> =	<b>0.37027</b>	<b>m</b>
(114")	f=	0.013450928	1	Hf <sub>3</sub> =	<b>0.14026</b>	<b>m</b>

**Cuadro 4.3** Determinación de factor de fricción y perdidas lineales <sup>56</sup>

#### 4.8.6 Perdidas Localizadas en Tuberías

Las pérdidas localizadas se utilizan para tener en cuenta las pérdidas en una sección de tubo (tales como codos, uniones, transiciones de diámetro... etc.). El coeficiente de pérdida localizada (K) es un término adimensional que multiplica a la velocidad para dar la pérdida de carga concentrada en el componente. Por lo tanto, la pérdida localizada está dada por:

$$H_f = K * (v^2/2g)$$

#### Ecuación No. 5 Cálculo de Pérdidas Localizadas. <sup>57</sup>

H<sub>f</sub> es la pérdida de carga (en metros), v es la velocidad de la línea (m/s), y K el factor para cada codo, unión o reducción. Se utilizan valores conservadores para el coeficiente de pérdida localizada (K), basado en las diferentes bibliografías.

<sup>53</sup> Elaboración propia.

<sup>54</sup> Ecuación de Colebrook White.

<sup>55</sup> Ecuación de Darcy-Weisbach.

<sup>56</sup> Elaboración propia.

<sup>57</sup> Lencastre, "Hidráulica General" (1962).

La siguiente tabla detalla los elementos consideradores de cada tramo relacionados con la operación normal de la planta:

<b>1-Tramo 84" de bomba 1 a entrada de condensador 1</b>			
Para un caudal de 8.53 m <sup>3</sup> /s	v= 2.39 m/s		
	Piezas	K	Sumatoria
Derivación T con ángulo 90°	0	1.1	0
Derivación T con ángulo 45°	1	0.8	0.8
Codos 90°	0	0.55	0
Codos 45°	6	0.3	1.8
TOTAL			2.6
$\Delta H$ (m)=			0.7318

**Cuadro 4.4 Determinación de Perdidas Localizadas en Tramo 1.**<sup>58</sup>

<b>2-Tramo 84" de bomba 2 a entrada de condensador 2</b>			
Para un caudal de 8.53 m <sup>3</sup> /s	v= 2.39 m/s		
	Piezas	K	Sumatoria
Derivación T con ángulo 90°	0	1.1	0
Derivación T con ángulo 45°	1	0.8	0.8
Codos 90°	0	0.55	0
Codos 45°	6	0.3	1.8
TOTAL			2.6
$\Delta H$ (m)=			0.7318

**Cuadro 4.5 Determinación de Perdidas Localizadas en Tramo 2.**<sup>59</sup>

<b>3-Tramo 78" salida de condensador 1 inicio tramo 114"</b>			
Para un caudal de 8.53 m <sup>3</sup> /s	v= 2.77 m/s		
	Piezas	K	Sumatoria
Derivación T con ángulo 90°	1	1.1	1.1
Derivación T con ángulo 45°	0	0.8	0
Codos 90°	2	0.55	1.1
Codos 45°	0	0.3	0

<sup>58</sup> Elaboración propia

<sup>59</sup> Elaboración propia

Transición de 78" a 114"	1	1	1
		TOTAL	3.2
		$\Delta H (m)=$	1.2156

**Cuadro 4.6 Determinación de Perdidas Localizadas en Tramo 3** <sup>60</sup>

<b>4-Tramo 78" salida de condensador 2 inicio tramo 114"</b>			
Para un caudal de 8.53 m <sup>3</sup> /s	v= 2.77		m/s
	Piezas	K	Sumatoria
Derivación T con ángulo 90°	2	1.1	2.2
Derivación T con ángulo 45°	0	0.8	0
Codos 90°	1	0.55	0.55
Codos 45°	2	0.3	0.6
Transición de 78" a 114"	0	1	0
		TOTAL	3.35
		$\Delta H (m)=$	1.2725

**Cuadro 4.7 Determinación de Perdidas Localizadas en Tramo 4** <sup>61</sup>

<b>5-Tramo 114" hasta el pozo de sellos</b>			
Para un caudal de 8.53 m <sup>3</sup> /s	v= 2.72		m/s
	Piezas	K	Sumatoria
Derivación T con ángulo 90°	0	1.1	0
Derivación T con ángulo 45°	0	0.8	0
Codos 90°	0	0.55	0
Codos 45°	1	0.3	0.3
Transición de 78" a 114"	0	1	0
Entrada se Bombas Aux.	1	1	1
Entrada a pozo de sello	1	1	1
		TOTAL	2.3
		$\Delta H (m)=$	0.8420

**Cuadro 4.8 Determinación de Perdidas Localizadas en Tramo 4** <sup>62</sup>

<sup>60</sup> Elaboración propia

<sup>61</sup> Elaboración propia

<sup>62</sup> Elaboración propia



Perdidas en Trayectoria de Bomba 1	
Tramos 1+3+5	8.1
$\Delta H$ (Trayectoria Bomba 1) =	2.7894 m

**Cuadro 4.9 Perdidas Localizadas en Trayectoria 1** <sup>63</sup>

Perdidas en Trayectoria de Bomba 2	
Tramos 2+4+5	8.25
$\Delta H$ (Trayectoria Bomba 2) =	2.8463 m

**Cuadro 4.10 Perdidas Localizadas en Trayectoria 2** <sup>64</sup>

Trayectoria con mayores perdidas	
$\Delta H$ (Trayectoria Bomba 2) =	2.8463 m
Margen adicional por cambios	1.1537 m
$H_{f_4}(\text{Total})=$	<b>4.0000 m</b>

**Cuadro 4.11 Perdidas Localizadas Totales** <sup>65</sup>

#### 4.8.7 Perdidas por Válvulas de Mariposa

La utilización de válvulas del tipo mariposa en todo el sistema de agua de circulación obedece a sus características, como son: la baja pérdida de presión; la facilidad de instalación, operación y control, y el no ser susceptible de retener desechos.

A partir de los datos obtenidos de diferentes suministradores se estima que el coeficiente de caudal de una válvula de mariposa 78" es de  $KV= 252747$  y para 84"  $Kv= 279286$ .

Angulo de apertura	Kvm3/hr	
	78"	84"
5°	3016	3333
10°	6211	6863
15°	9761	10787
20°	14021	15493
25°	18105	20007
30°	23430	25891
35°	31061	34322
40°	39757	43931
45°	50762	56092
50°	63897	70605

<sup>63</sup> Elaboración propia

<sup>64</sup> Elaboración propia

<sup>65</sup> Elaboración propia

55°	80937	89436
60°	100459	111008
65°	125664	138859
70°	153175	169258
75°	188496	208288
80°	215831	238492
85°	235352	260064
90°	252747	279286

**Cuadro 4.12 Valores de Kv válvula de mariposa en f (ángulo de apertura, diámetro).<sup>66</sup>**

Basado en los valores proporcionados por el suministrador, se utiliza la siguiente fórmula para determinar la pérdida de carga asociada a las válvulas de mariposa.

$$K_v = \frac{Q}{\sqrt{\Delta H \cdot SG}}$$

**Ecuación No. 6 Cálculo de pérdidas de carga por válvulas de mariposa<sup>67</sup>**

Donde:

Q= Caudal ( $m^3$  / hr.)

Kv= Coeficiente de Caudal (Obtenida experimentalmente indicando valores en Cuadro 4.4)

H= Pérdida de Carga

SG= Gravedad específica.

Despejando:

$$\Delta H = \left( \frac{Q}{K_v} \right)^2 \cdot SG$$

$$\Delta H = \left( \frac{8.53 \cdot 3600}{279286} \right)^2 \cdot 1.0216$$

$$\Delta H = 0.0123505 \text{ bar} = 0.1259 \text{ m}$$

Por lo que considerando que hay 3 válvulas de mariposa en operación normal se tiene una pérdida de carga total  $H_{f_5} = \mathbf{0.3777 \text{ m}}$ .

<sup>66</sup> TYCO, 2012

<sup>67</sup> Samson, "Guía para cálculo de válvulas" (2012).

#### 4.8.8 Perdidas por diferencia Geométrica.

El pozo de sellos es una estructura en concreto armado, con un labio fijo. Ésta estructura es el punto donde la impulsión del sistema de enfriamiento rompe el vacío.

Las funciones de esta estructura son principalmente las de mantener la operación en sifón del tramo de entrada y salida del condensador del sistema de enfriamiento principal, reducir la energía cinética del agua en la transición de flujo a presión a superficie libre y finalmente conducir el agua del sistema de enfriamiento principal al canal de descarga.

Cuando la altura entre el nivel de descarga libre y el punto más alto del sifón (condensador) es tan elevada que excede la capacidad máxima del sifón, es necesario el empleo de un pozo de sello para incrementar la presión en la parte más alta del sifón por arriba de la presión de vaporización del agua. La altura entre el nivel de descarga libre y el nivel de descarga en el pozo de sello representa una carga de bombeo.

Por otro lado, el pozo de sello debe proporcionar una carga estática suficiente para que el agua de circulación fluya por gravedad hasta el mar a través del canal de descarga.

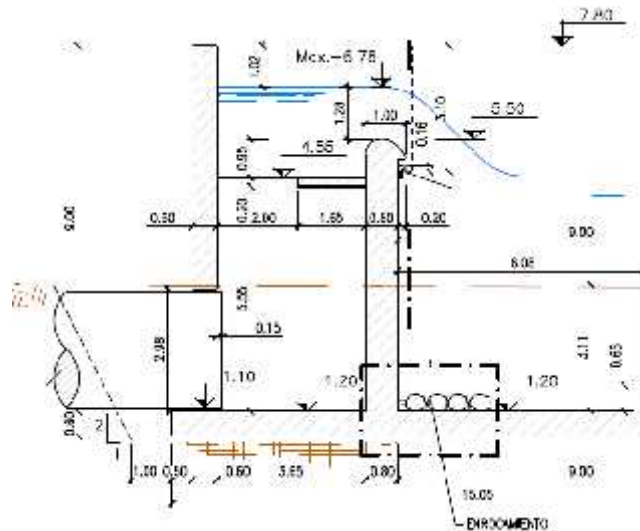


Fig. 4.6 Esquema en elevación del Pozo de Sellos.<sup>68</sup>

Del esquema de la figura 4.5, se determina que el nivel del labio fijo (aliviadero) es de +5.50 MSNMM, sin embargo el nivel más alto que se puede obtener en el vertedor en operación normal y con las condiciones de nivel mínimo que se puede presentar en el cárcamo de bombeo (-3.700 MSNMM) indicada en la sección 4.8.2, se fija un valor de +6.700 MSNMM para el diseño. Por lo anterior se determina la siguiente carga estática:

$$(Z_2 - Z_1) = +6.700 - -3.70 = \mathbf{10.4\ m}$$

<sup>68</sup>Proyecto CC Empalme I - CFE, "Elevación Pozo de Sellos" (2016).

La fosa de mariscos es una estructura en concreto armado también dotada de un labio fijo que tiene por objeto coleccionar el agua del sistema de circulación cuando éste opera bajo la condición de retrolavado con choque térmico. Es debido al procedimiento de choque térmico que la estructura toma el nombre de fosa de mariscos, ya que es en ésta donde los organismos marinos son descargados y de esta estructura descargarán también por gravedad al canal de descarga. Es importante señalar que esta estructura no funciona en operación normal.

El diseño de la elevación del pozo de sellos, así como de la fosa de mariscos depende de la pendiente mínima necesaria que debe tener el canal de descarga, de acuerdo a los criterios de velocidad máxima en dicho canal para descargar el agua desde el pozo de sellos y fosa de mariscos hasta su descarga marina.

Para la operación en retrolavado cuya descarga se realiza a la fosa de mariscos, el recorrido y pérdidas de carga totales son mayores a las de la trayectoria para la operación normal, por lo que para dicha maniobra la curva de resistencia del sistema aumenta, generando que restringiendo caudal y aumentando la carga dinámica total.

#### 4.8.9 Cálculo del Punto de Funcionamiento.

<b>Cálculo para el punto de Funcionamiento de la Bomba</b>	
Carga Estática por diferencia geométrica	$Z_2 - Z_1 = 10.40$ m
Perdidas de Carga en Condensador	$H_{f_{Cond.}} = 5.68$ m
Perdidas de Carga por sistema de limpieza	$H_{f_{Limp.}} = 0.79$ m
Perdidas lineales (Tubería 84")	$H_{f_1} = 0.37$ m
Perdidas lineales (Tubería 78")	$H_{f_2} = 0.17$ m
Perdidas lineales (Tubería 114")	$H_{f_3} = 0.14$ m
Perdidas localizadas (Codós, Tee's, etc.)	$H_{f_4} = 4.00$ m
Perdidas por Válvulas de Mariposa	$H_{f_5} = 0.38$ m
	<b><math>H_D = 21.9</math> m</b>

**Cuadro 4.13 Cálculo para el punto de Funcionamiento de la Bomba.**<sup>69</sup>

Por lo anterior la carga dinámica total se determina en  **$H_D = 21.9$  m @  $8.53 \text{ m}^3/\text{s}$**

Con información del suministrador del equipo de bombeo (Torishima), se obtiene la Curva característica de la bomba.

<sup>69</sup> Elaboración propia

H (m)	Q (m <sup>3</sup> /s)
34.60	0
31.00	1.39
28.00	2.77
26.00	4.16
24.00	5.55
23.00	7.08
21.90	8.53
18.50	9.72
15.00	11.26

Así mismo, de la hoja de datos del equipo proporcionada por el suministrador se obtienen los siguientes datos:

- Caudal máximo: 11.26 m<sup>3</sup>/s
- Caudal mínimo: 5.95 m<sup>3</sup>/s
- Eficiencia mecánica de la Bomba 85%

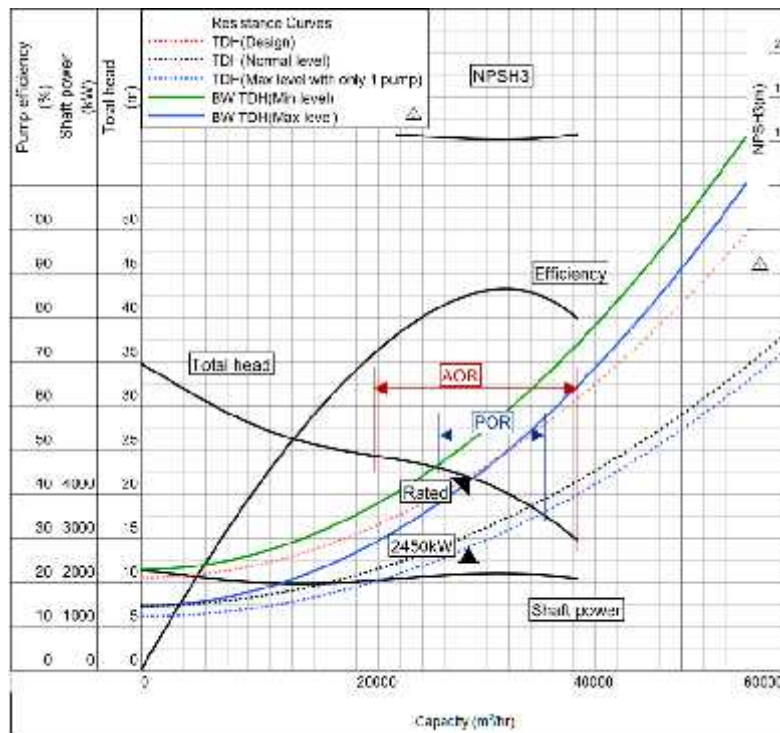


Fig. 4.7 Curva de la Bomba del Sistema de Enfriamiento Principal.<sup>70</sup>

<sup>70</sup>Torishima, "Curva de la Bomba del Sistema" (2015).

Para determinar la Potencia Hidráulica (PH), se utiliza la siguiente fórmula:

$$P_H = \gamma * Q * H_D$$

**Ecuación No. 7 Potencia Hidráulica.**<sup>71</sup>

Donde:

PH = Potencia Hidráulica (Watts)

= Peso Específico ( $\frac{N}{m^3}$ )

H<sub>D</sub> = Perdida de Carga Total del Sistema (m)

Q = Caudal ( $m^3/s$ )

Sustituyendo:

$$P_H = (1021.6 \frac{kg}{m^3} * 9.81 \frac{m}{s^2}) * (8.53 \frac{m^3}{s}) * (21.9 m)$$

$$P_H = 1,872.160 kW = \mathbf{2,510.61 H.P.}$$

Para determinar la Potencia demanda por la bomba, se utiliza la siguiente fórmula:

$$BHP = \frac{Q H_D}{\text{bomba}}$$

**Ecuación No. 8 Potencia al Freno.**<sup>72</sup>

Sustituyendo:

$$BHP = \frac{1,872.160 kW}{0.85}$$

$$BHP = 2,202.541 kW$$

Del mismo modo para determinar, la potencia requerida por el motor eléctrico de la bomba, se asume que el motor tiene una eficiencia de =95%.

<sup>71</sup> White, Frank, "Mecánica de Fluidos" (2008).

<sup>72</sup> Universidad Autónoma de Occidente, "Ahorro de Energía en Sistemas de Bombeo" (2015).

$$P_{\text{motor}} = \frac{\text{BHP}}{\text{motor}} = \frac{2,171.556 \text{ kW}}{0.95}$$

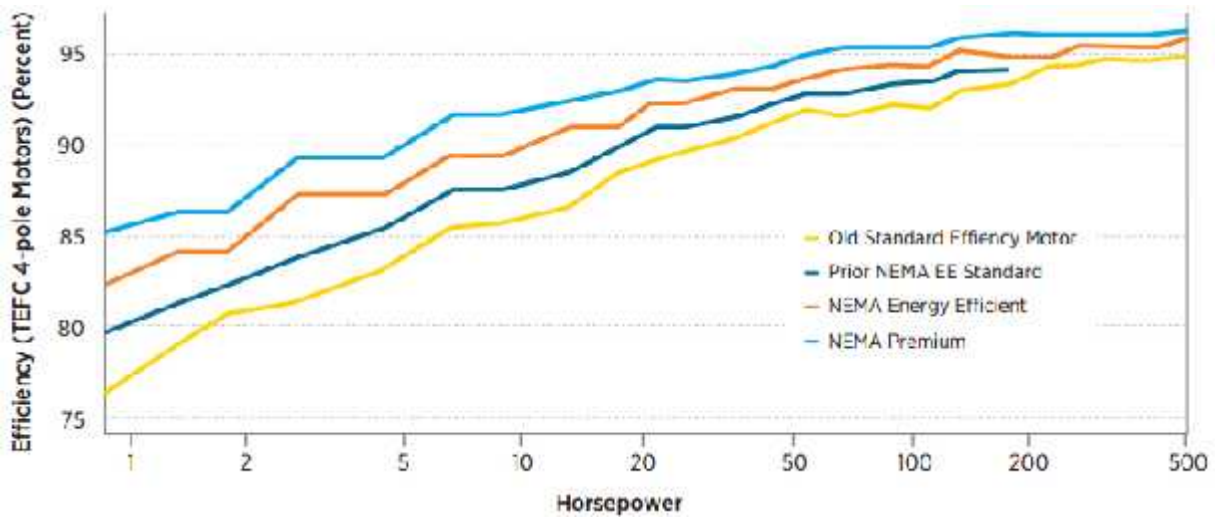
**Ecuación No. 9 Potencia en motor eléctrico.**<sup>73</sup>

$$P_{\text{motor}} = 2,318.5 \text{ kW}$$

La potencia obtenida, es la potencia eléctrica requerida por el motor de una de las bombas, para su funcionamiento, por lo que derivado de que en la operación normal son dos bombas en funcionamiento, la potencia eléctrica total es de:

$$P_{\text{eléctrica total}} = 4,636.9 \text{ kW} = 6,218.2 \text{ H. P.}$$

La eficiencia del motor eléctrico considerado para el sistema considera un valor de eficiencia conservador de acuerdo al tipo de aplicación y capacidad del motor, ya que en la actualidad se fabrican motores bajo el estándar NEMA Premium<sup>®</sup> alcanzando eficiencias superiores al 95%, sin embargo este estándar solo cubre a motores de hasta 500 HP de potencia, siendo muy inferiores a los requeridos en el sistema.



**Fig. 4.8 Desempeño de motores de eficiencia NEMA Premium<sup>®</sup>.**<sup>74</sup>

<sup>73</sup> ITESM, "Uso Eficiente de Motores Eléctricos" (2015).

<sup>74</sup> U.S. Department of Energy, "Premium Efficiency Motor Selection and Application Guide" (2015).

#### **4.9 Conclusiones del Capítulo 4.**

En el diseño del sistema de enfriamiento principal existen muchas consideraciones que plantean las posibilidades de optimización del mismo, el flujo de agua de diseño necesario para el sistema, se determina a partir del balance térmico para disipar la carga térmica del condensador y que la turbina de vapor genere la potencia eléctrica de diseño.

En el diseño hidráulico deben ser consideradas las pérdidas en tuberías por rugosidad en el largo de las mismas, también llamadas pérdidas lineales, pérdidas por accesorios (codos, tees, reducciones), válvulas y principalmente por la altura de bombeo. En este caso la altura de bombeo está limitada por las condiciones del sitio ya que la descarga en el pozo de sello debe ser la suficiente para descargar por gravedad al mar, implicando una diferencia geométrica de 10.4 m.

En el diseño hidráulico del sistema de enfriamiento, la diferencia geométrica implica la mayor pérdida a vencer, del mismo modo el paso del agua por el condensador implica una pérdida importante, sin embargo esta pérdida está dada por el suministrador y la posibilidad de optimizar la misma radica en el desarrollo de los diseños de los diferentes suministradores que cuentan con el "KnowHow" de este tipo de equipos para el tipo de enfriamiento y condiciones específicas.

Otra de las pérdidas de carga dadas por el suministrador es el sistema de limpieza "taprogge" necesario para mantener los tubos del condensador libres de ensuciamiento que no perjudique la transferencia de calor y por ende la energía eléctrica generada.

Es importante durante el diseño buscar las rutas de tuberías más cortas y directas que reduzcan pérdidas lineales y localizadas, así como establecer parámetros de velocidades y proceso de acuerdo a buenas prácticas de ingeniería.



## **Capítulo 5. Análisis Económico**

En este capítulo se realiza el análisis económico basado en el impacto del diseño del sistema de agua de enfriamiento realizado en el capítulo anterior, la intención es evaluar y poder comparar para un periodo de vida determinado el costo del bombeo, que repercute en el consumo de auxiliares de la planta.

Es importante tener claro que para fines de determinar este análisis económico, se han tomado en cuenta aspectos económicos con referencia en precios de mercado para determinar el Costo Nivelado de Generación, es decir el costo que tiene generar un kWh en la proyección de vida útil considerando aspectos de inversión inicial, intereses, costos de operación y mantenimiento entre los que se incluyen costos de producción de agua desmineralizada de proceso, costo de consumo de hidrógeno, costo del combustible e incluso costos de mantenimientos a los equipos principales, los cuales en muchos casos suelen ser contratos con el fabricante para periodos determinados.

Para el caso específico de este estudio, el procedimiento de cálculo de beneficio económico consiste en evaluar el impacto que el adecuado diseño del sistema de bombeo para condensación de escape de la turbina tiene por operar en las condiciones de flujo y carga dinámica para las cuales el equipo fue seleccionado.

En el caso de que el sistema requiera una mayor carga dinámica que la de diseño con la que el equipo de bombeo fue seleccionado, implica una reducción de flujo al desplazarse sobre la curva de la bomba.

Esta reducción de flujo afecta sustancialmente los parámetros de desempeño de la central (Capacidad Neta, Régimen Térmico, Eficiencia), ya que se produce una reducción de generación de energía y un aumento en el régimen térmico de la central.

Para determinar los beneficios económicos de operar en el punto de funcionamiento, se obtienen los Costos Nivelados de Generación con varios flujos de agua de enfriamiento (Análisis de sensibilidad) como consecuencia de que el sistema realmente opere a una carga dinámica mayor de la calculada en el punto de diseño y por ende un menor flujo de agua, por lo que estos Costos Nivelados de Generación se incrementan por afectaciones en el desempeño de la central (Incremento de Régimen Térmico, Reducción de capacidad Neta, reducción de vacío en condensador).

La diferencia del Costo Nivelado de Generación en el punto de diseño con respecto al Costo Nivelado de Generación de los diferentes flujos considerados en el análisis de sensibilidad, es multiplicado por la energía total generada para la condición proyectada con cada flujo en la vida útil de la central en el valor presente. Lo anterior permite obtener en Valor Presente la afectación económica por incremento del precio nivelado.

Adicionalmente el decremento de capacidad neta generada por reducción del flujo, implica un decremento de energía total generada en la vida útil de la central, por lo que la diferencia de la capacidad neta en el punto de diseño respecto a la capacidad neta generada para cada uno de los flujos de agua proyectado en la vida útil de la Central en Valor Presente se multiplica por el Costo Nivelado de Generación de diseño obteniendo la afectación económica por decremento de este parámetro de desempeño.

Una vez determinado el Costo Nivelado de Generación será posible realizar los análisis de sensibilidad respectivos para analizar en el horizonte de tiempo el impacto económico del diseño del sistema.

### 5.1 Costo Nivelado de Generación

El Costo Nivelado de Generación conocido en la literatura en inglés como Levelized Cost Of Electricity (LCOE), se conoce como el Valor Presente del costo de la energía eléctrica producida en la Central en el horizonte de vida útil que se considera para producir ingresos. Se trata de una evaluación económica de primer orden de la competitividad de los costes de un sistema de generación de electricidad que incorpora todos los costos a lo largo de su vida útil, tal como la inversión inicial, operación y mantenimiento, costo del combustible etc.

El Costo Nivelado de Generación es el valor para el cual un ingreso fijo durante la vida del perfil de generación del activo, haría que el proyecto para el punto de equilibrio es decir que no tenga pérdidas ni ganancias. Esto se puede calcular aproximadamente como el Valor Presente Neto de todos los costes durante la vida útil del activo dividido por la producción de energía eléctrica total del activo, para este análisis se considerará de acuerdo a la siguiente fórmula.

$$CNG = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{(C.I._t + M.O._t + C.C._t)}{(1+t)^i}}{\sum_{i=1}^n \frac{G_i}{(1+t)^i}} = \frac{\text{Valor Presente de la Sumatoria de Costos}}{\text{Sumatoria de Energía Generada}}$$

**Ecuación No. 10 Costo Nivelado de Generación<sup>75</sup>**

Donde:

C.I. = Costo de la Inversión de la Central en la Operación de la Central.

M.O.= Costo de Operación y Mantenimiento durante el periodo (i).

C.C.= Costo de Combustible para el periodo (i).

G<sub>i</sub> = Generación Neta en el periodo (i).

t = Tasa de Descuento para el periodo (i).

n = Horizonte de vida útil para el Proyecto en periodo (i)

<sup>75</sup>U.S. Department of Energy, "Levelized Cost of Energy", (2015).

Los Costos de operación y mantenimiento, tomarán en cuenta el costo de operación por consumo de hidrógeno en los generadores eléctricos, consumo de Agua Desmineralizada en el ciclo de agua-vapor y los costos de mantenimiento de los equipos turbogeneradores de gas que en la práctica se compone de un cargo fijo y un cargo variable dependiendo las horas de operación de los equipos, por lo que la fórmula de la Ecuación No. 9 aplicada al Proyecto, queda de la siguiente forma:

$$CNG = \frac{VP_{C.I.} + VP_{C.H.} + VP_{A.D.} + VP_{TG} + VP_{C.C.}}{\sum_{i=1}^n \frac{G_i}{(1+i)^i}}$$

**Ecuación No. 11 Costo Nivelado de Generación para el Proyecto<sup>76</sup>**

Donde:

VP<sub>C.I.</sub> = Valor Presente del Costo de la Inversión de la Central en la Operación de la Central.

VP<sub>C.H.</sub> = Valor Presente del Costo del consumo de Hidrógeno.

VP<sub>A.D.</sub> = Valor Presente del Costo del consumo de Agua Desmineralizada.

VP<sub>TG</sub> = Valor Presente del Costo del Mantenimiento de las Turbinas de Gas.

G<sub>i</sub> = Generación Neta en el periodo (i).

t = Tasa de Descuento para el periodo (i).

n = Horizonte de vida útil para el Proyecto en periodo (i).

**5.1.1 Consideraciones Adicionales para determinar el CNG.**

Para fines de este análisis se considera un tipo de cambio de 17.2487 <sup>Pesos</sup> <sub>Dólar</sub> de acuerdo a lo establecido por la SHCP, en relación al tipo de cambio publicado por el Banco de México en el DOF para solventar obligaciones denominadas en moneda extranjera pagaderas en la República Mexicana en el mes de enero 2016, considerado el periodo del Valor Presente.<sup>77</sup>

De igual forma considerando que la central iniciará operaciones en enero del 2018 se toma una tasa de descuento del t=12%, con fines de determinar el Costo Nivelado de Generación.

El costo de Inversión al Inicio de Operación se deflacta a una tasa = 2.7 % anual.

- Tasa de Descuento

<sup>76</sup>Elaboración Propia.

<sup>77</sup> Secretaria de Hacienda y Crédito Público (2016).

T= 12.000% Anual

t= 0.949% Mensual

- Tasa de Inflación

= 2.700% Anual

= 0.222% Mensual

## 5.2 Costo de Inversión de la Central

Para determinar el Costo de inversión de un Central de CicloCombinado de estas características, es necesario identificar los costos que integran el precio de la inversión.

En el caso de centrales de CFE la modalidad de contratación de Proyectos de infraestructura, se basa en los esquemas llamados PIDIREGAS (Proyectos de Impacto Diferido en el Registro del Gasto) de inversión directa también llamados OPF (Obra Pública Financiada).

El origen de estos esquemas, se remonta a la crisis económica de diciembre de 1994, en que la disponibilidad de recursos financieros para la inversión productiva en México era prácticamente nula, dadas las grandes necesidades de inversión en materia energética fue necesario desarrollar nuevos esquemas de financiamiento que permitieran a PEMEX y CFE contar con los flujos suficientes para generar la infraestructura necesaria para la generación de energía eléctrica y la extracción de petróleo. Los Proyectos de Inversión Diferidos en el Gasto (PIDIREGAS) ahora conocidos como Proyectos de Inversión de Largo Plazo se diseñaron para atender dichas necesidades en condiciones de escasez de recursos públicos para la inversión. Asimismo, se previó que las entidades públicas pudiesen acudir directamente a los mercados financieros para resolver sus necesidades de financiamiento.

El procedimiento para llevar al cabo un proyecto de infraestructura de largo plazo en este esquema financiero es:

1. Se convoca a una licitación pública internacional; durante el desarrollo del mismo, los gastos no impactan a las finanzas públicas porque las empresas ganadoras de las licitaciones cubren dichos gastos con recursos provenientes de financiamientos, disponibilidades propias o inventarios.
2. Cuando las obras están concluidas y en condiciones de generar ingresos, los proyectos se entregan a las empresas del sector público (PEMEX y CFE).
3. Una vez que los proyectos entran en operación, se inicia el pago de obligaciones a través de recursos presupuestales generados por todos y cada uno de los proyectos; es decir, es en ese momento que PEMEX y CFE inician el pago presupuestario de las

obras construidas, cuyo monto se refleja anualmente en su presupuesto y en el gasto público.<sup>78</sup>

Lo anterior se resume en que el costo de la oferta ganadora de la licitación pública considera todos los gastos por financiamiento del proyecto durante su etapa de construcción hasta la operación comercial del mismo cuando ya se generan ingresos, por lo que en este momento se realiza el pago a través de adquisición de deuda, por lo que este precio ofertado puede considerarse el Costo Actualizado al Inicio de Operación de acuerdo a lo establecido en el COPAR, ya que incorpora el costo de los intereses devengados durante la construcción de la obra, considerando una tasa de descuento y los programas de inversión correspondientes.

Tomando como base la capacidad de la Central (757.896 MW) neto condiciones de verano de acuerdo a lo expresado en el balance térmico del Anexo 1, así como el costo unitario por kW instalado de acuerdo a lo indicado en el COPAR.

Central	Número de unidades 1/	Capacidad por unidad (MW)		Dólares/ kW <sub>Bruto</sub>			
		Bruta	Neta	Directo	Directo más Indirecto	CAIO 12%	CAIO 14%
Ciclo combinado gas	1A x 1	109.0	105.7	946	997	1,169	1,198
	1F x 1	281.9	273.3	754	794	932	956
	2F x 1	567.0	549.6	724	763	900	924
	3F x 1	851.6	825.7	715	752	884	907
	1G x 1	393.7	380.7	700	737	856	876
	2G x 1	789.4	763.7	662	718	845	867
	1H x 1	405.7	391.3	698	735	854	874
	2H x 1	813.6	785.0	681	717	843	865

**Cuadro 5.1 Costo Unitario de Inversión (Dólares / kW<sub>Bruto</sub>)**

Así mismo tomando como base los resultados del Resumen de Desempeño del Balance Térmico realizado con el simulador GT MASTER 25.0 e incorporado en el Anexo 1, se obtiene:

GT PRO 25.0 Usuario	
Gross Power	775125 kW
Net Power	757896 kW
Aux. & Losses	17229 kW
LHV Gross Heat Rate	6022 kJ/kWh
LHV Net Heat Rate	6159 kJ/kWh
LHV Gross Electric Eff.	59.78 %
LHV Net Electric Eff.	58.45 %
Fuel LHV Input	1296558 kWth
Fuel HHV Input	1434620 kWth
Net Process Heat	0 kWth

**Fig. 5.1 Resumen de Desempeño.**

Considerando:

<sup>78</sup> Centro De Estudios De Las Finanzas Públicas, "PIDIREGAS Un Estudio General" (2007).

$$\text{Capacidad Bruta} = \text{Capacidad Neta} + \text{Consumo de Auxiliares}$$

**Ecuación No. 12 Capacidad Bruta (MW)<sup>79</sup>**

$$\text{Capacidad Bruta} = 757.896 \text{ MW} + 17.229 \text{ MW}$$

$$\text{Capacidad Bruta} = 775.125 \text{ MW}$$

Con la Capacidad Bruta de la Central se estima el Costo de Inversión:

$$\text{Costo de Inversión} = \text{Capacidad Bruta} \times \text{Costo Actualizado al Inicio de Operación} (12\%)$$

**Ecuación No. 13 Costo de Inversión (Dólares)<sup>80</sup>**

$$\text{Costo de Inversión} = 775,125 \text{ kW} \times 843 \text{ Dólares}_{\text{ kW}}$$

$$\text{Costo de Inversión} = \$ 653'430,375.00 \text{ Dólares}$$

Para determinar el Valor Presente del Costo de Inversión inicial del Proyecto se determinó con ayuda de hoja de cálculo, basado en la siguiente fórmula:

$$VP \text{ CI} = \frac{\frac{\text{Costo de Inversión}}{1 + (\text{Tasa de Inflación mensual})^{(\text{Periodo de Inicio de Operación})}}}{1 + (\text{Tasa de descuento mensual})^{(\text{Periodo de Inicio de Operación})}}$$

**Ecuación No. 14 Valor Presente del Costo de Inversión (Ene-16)<sup>81</sup>**

<b>Costo de Inversión Valor Presente (Ene-16)</b>				
Mes	Mes (i)	Costo de Inversión(CI)	Valor Presente del Costo de Inversión(VP CI)	Valor Presente del Costo de Inversión(VP CI)
	(i)		(Dólares)	(Pesos)
			\$ 493,881,076.90	\$ 8,518,806,531.10
ene-16	0	0	0	0
feb-16	1	0	0	0
mar-16	2	0	0	0
abr-16	3	0	0	0
may-16	4	0	0	0
jun-16	5	0	0	0
jul-16	6	0	0	0
ago-16	7	0	0	0
sep-16	8	0	0	0
oct-16	9	0	0	0

<sup>79</sup> Elaboración propia de acuerdo a datos obtenidos del COPAR 2012.

<sup>80</sup> Elaboración propia de acuerdo a datos obtenidos del COPAR 2012.

<sup>81</sup> Elaboración propia.

nov-16	10	0	0	0
dic-16	11	0	0	0
ene-17	12	0	0	0
feb-17	13	0	0	0
mar-17	14	0	0	0
abr-17	15	0	0	0
may-17	16	0	0	0
jun-17	17	0	0	0
jul-17	18	0	0	0
ago-17	19	0	0	0
sep-17	20	0	0	0
oct-17	21	0	0	0
nov-17	22	0	0	0
dic-17	23	0	0	0
ene-18	24	653430375	\$ 493,881,076.90	\$ 8,518,806,531.10

**Cuadro 5.2 Costo de Inversión en Valor Presente (Dólares y Pesos).**

### 5.3 Costos de Mantenimiento y Operación de la Central.

Los costos de Mantenimiento y Operación de la central dependen de varios factores, esencialmente dependerá de la cantidad de energía que se genere por el Factor de Planta, ya que esto se ve reflejado en los insumos de generación principalmente combustible, así como consumos de hidrógeno y agua desmineralizada utilizada en el ciclo de vapor.

Es importante indicar que el régimen térmico en que opera el ciclo combinado dependerá de la sintonización de las turbinas de gas, ya que estos equipos son más eficientes cuando se opera en su máxima capacidad. El régimen térmico en el que opera una central es de suma importancia ya que en ella radica la eficiencia de la Central y por ende se ve reflejado en sustanciales ahorros por consumo de combustible,

Tal como se ha señalado anteriormente, para fines de este análisis se realizan suposiciones aproximadas a como operará la planta, ya que actualmente de acuerdo a los esquemas de subasta de energía no podemos garantizar que las proyecciones de generación de energía eléctrica sean constantes. Sin embargo si podemos obtener costos aproximados que nos den una clara referencia de los posibles ahorros que se pueden obtener.

#### 5.3.1 Factor de Planta.

Conocido también como factor de utilización de una central, es la relación entre la energía eléctrica producida por un generador o conjunto de ellos, durante un intervalo de tiempo determinado y la energía que habría sido producida si este generador o conjunto de ellos hubiese funcionado durante ese intervalo de tiempo, a su potencia máxima posible en



servicio. Se expresa generalmente en porcentaje anual y como se ha mencionado anteriormente de acuerdo al esquema del MEM, tomará incertidumbre dicho factor.<sup>82</sup>

En general el Factor de Planta depende del índice de disponibilidad y es un dato estadístico proyectado al interior, basado en los datos históricos reales, un pronóstico para el siguiente año, basado en programas de mantenimientos y un presupuesto para su ejecución.

Para entender el Factor de Planta, toma relevancia el concepto de disponibilidad, que se refiere a su condición de estar lista la central para entrar en operación en cuanto sea requerida, además de estar en condiciones de estar a su capacidad máxima cuando esta sea requerida.<sup>83</sup>

La disponibilidad es un término general usado para describir el estado de la utilización inmediata de la Central cuando se le requiere.

La fórmula para el cálculo del Factor de Disponibilidad Equivalente Anual (FDEA), es en términos de tiempo, como se muestra a continuación:

$$FDEA = \frac{PH - HI}{PH}$$

$$FDEA = 1 - \frac{HI}{PH}$$

**Ecuación No. 15 Factor de Disponibilidad Equivalente Anual (FDEA)<sup>84</sup>**

Donde:

FDEA = Factor de Disponibilidad Equivalente Anual.

PH = (PeriodHours), espacio de tiempo total, (8760 horas, las cuales inician en la fecha de operación) en que se desea conocer la disponibilidad de la Central de Ciclo Combinado.

HI = Espacio de tiempo indisponible equivalente de la Central de Ciclo Combinado en horas.

$$HI = HSF + HSMP + HSED$$

**Ecuación No. 16 Tiempo Indisponible Anual<sup>85</sup>**

---

82 COPAR 2012

83 "Capítulo 1- Parámetros de Rendimiento", Gabriel León de los Santos 2014

84 Norma ANSI/IEEE Std. 762-1987.

Donde:

HSED = EquivalentUnplannedDerratedHours (EUDH) es el espacio de tiempo, en horas, en que la Central de Ciclo Combinado estuvo limitado en la generación por causas atribuibles al equipo mencionado anteriormente, con o sin planeación alguna (forzada) multiplicado por el resultado de la diferencia entre uno menos el factor que resulte del cociente de la Capacidad Disponible Real entre la Capacidad Neta Solicitada.

HSF = (Unplanned "forced" OutageHours UFOH), es el espacio de tiempo en que existieron salidas no planeadas (forzadas) de la Central de Ciclo Combinado en horas.

HSMP = (PlannedOutageHours POH), es el espacio de tiempo en que existieron salidas planeadas y programadas de la Central de Ciclo Combinado en horas.

Nuevamente para fines del presente análisis, se deberá suponer los factores antes señaladas en prácticas comunes que se tienen en centrales con estas características, que al ser nuevas su factor de disponibilidad es alta considerando que los sistemas no se disparan por fallas en los elementos, escasos mantenimiento que no afectan la operación y capacidad de generar a la máxima carga disponible.

En centrales de ciclo combinado de estas características se pueden garantizar factores de disponibilidad de casi el 100% para el primer año de operación ya que como se señala anteriormente, prácticamente no hay salidas forzadas por fallas, los sistemas se encuentran en condiciones de trabajar a su máxima capacidad y no hay mantenimientos que afecten la operación de la central.

Se considera para este análisis un FDEA de 99.5%, así mismo se considera un Factor de Carga de 93% el cual se estima en los análisis costos-beneficio para la inversión en dicho Proyecto, esto significa la cantidad de energía eléctrica generada respecto al 100% de la capacidad de generación a lo largo de su vida útil.

Por lo que para obtener el Factor de Planta de la Central se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$\text{Factor de Planta } \% = \text{FDEA } \% \times \text{Factor de Carga } (\%)$$

**Ecuación No. 17 Factor de Planta.<sup>86</sup>**

---

<sup>85</sup> Norma ANSI/IEEE Std. 762-1987.

<sup>86</sup> Elaboración Propia.

También se considera que cada año existirá un Decremento Anual del Factor de Factor Disponibilidad Anual Equivalente (DAFDAE) = 0.5% para todo el horizonte de vida útil de 30 años, adicionalmente se programarán mantenimientos mayores cada 5 años que incrementen el Factor Disponibilidad Anual Equivalente (FDAE) en 1.5%.

La fórmula que determinara la disminución del Factor de Disponibilidad Anual Equivalente (FDAE), conforme lo establecido en el párrafo anterior, es la siguiente:

$$FDAE_{(n)} = (FDAE_{n-1}) \times (1 - DAFDAE)$$

**Ecuación No. 18 Disminución del Factor de Planta.<sup>87</sup>**

Donde:

FDAE<sub>(n)</sub> = Factor de Disponibilidad Anual Equivalente al año siguiente.

FDAE<sub>(n-1)</sub> = Factor de Disponibilidad Anual Equivalente del año anterior.

DAFDAE = Decremento Anual del Factor de Disponibilidad Anual Equivalente.

El incremento del Factor de Planta del 1.5% por mantenimiento mayor se realizará en el año 6, 12, 18 y 24.

En el Anexo 2, se puede observar el Decremento del Factor de Disponibilidad Equivalente Anual, así como el incremento por mantenimientos mayores en los años anteriormente señalados.

### **5.3.2 Generación Neta para cada periodo.**

La Generación Neta en el periodo ( $G_i$ ), consiste en la generación de energía eléctrica por periodo (mensual), que se obtiene en kW-h basada en la siguiente ecuación:

$$G_i = \text{Capacidad Neta} \times F.P. \text{ del periodo } (i) \times \text{Horas de operación en el periodo } (i) \times 1000$$

**Ecuación No. 19 Generación Neta del Periodo.<sup>88</sup>**

---

<sup>87</sup> Elaboración Propia.

<sup>88</sup> Elaboración Propia.

Se consideran 730 horas de operación para cada periodo (i) que resultan de la división de 8760 horas anuales entre 12 meses en el año.

En el Anexo 2, con la ayuda de la hoja de cálculo se determina la Generación neta para cada uno de los periodos de vida útil.

### 5.3.3 Costo por Consumo de Hidrógeno.

El costo en el consumo de hidrógeno, radica en el consumo que se tiene en los generadores eléctricos en  $m^3/kWh$  asociados a cada una de las unidades de la Central. Para determinar el costo por consumo de hidrógeno, se debe obtener un costo nivelado para todos los periodos de la vida útil del Proyecto, el cual se estima en 210 Pesos/ $m^3$ .

Del mismo modo en proyectos de Ciclo Combinado similares, el consumo de hidrógeno está en el orden de  $1.45 \times 10^{-6} m^3/kWh$ , por lo que el costo en pesos se determina con la siguiente ecuación:

$$\text{Costo de Hidrógeno } (\$/kW - \text{h}) = \text{Costo Nivelado}_{\text{Hidrógeno}} \times \text{Consumo de Hidrógeno}$$

**Ecuación No. 20 Costo por Consumo de Hidrógeno.<sup>89</sup>**

De la ecuación anterior se obtiene el Costo del Hidrógeno por kW-h, por lo que en el Anexo 2 se multiplica por la Generación Neta para cada periodo ( $G_i$ ) para obtener el Costo del Consumo del Consumo de Hidrógeno para cada periodo y calcular el Valor Presente Neto del mismo.

### 5.3.4 Costo por Consumo de Agua Desmineralizada.

El costo en el consumo de Agua Desmineralizada, radica en el consumo que se tiene en el ciclo agua-vapor en  $m^3/kWh$  de la Central. Para determinar el costo por consumo de agua desmineralizada, se debe obtener un costo nivelado para todos los periodos de la vida útil del Proyecto, el cual se estima en 110 Pesos/ $m^3$ .

Del mismo modo en proyectos de Ciclo Combinado similares, el consumo de agua desmineralizada está en el orden de  $1.15 \times 10^{-5} m^3/kWh$ , por lo que el costo en pesos se determina con la siguiente ecuación:

---

<sup>89</sup> Elaboración Propia.

$$\text{Costo de Agua DM } (\$/kW\text{h}) = \text{Costo Nivelado}_{\text{Agua DM}} \times \text{Consumo de Agua DM}$$

**Ecuación No. 21 Costo por Consumo de Agua DM.<sup>90</sup>**

De la ecuación anterior se obtiene el Costo del Agua Desmineralizada por kWh, por lo que en el Anexo 2 se multiplica por la Generación Neta para cada periodo (G<sub>i</sub>) para obtener el Costo del Consumo del Consumo de Agua Desmineralizada para cada periodo y calcular el Valor Presente Neto del mismo.

**5.3.5 Costo por Mantenimiento de Turbogeneradores de Gas.**

Los Turbogeneradores de Gas son los equipos principales más importantes en la central, ya que por sí solos generan la mayor parte de la energía total del ciclo combinado, por lo que los mantenimientos que se le den a estos equipos debe ser de alta especialidad, siendo únicamente el suministrador del equipo capaz de proveer este servicio. Suele ser de gran ayuda ya que al contratarse este tipo de servicio por el suministrador para dicho mantenimiento, el suministrador puede garantizar regímenes térmicos durante la vida útil del equipo logrando de esta forma mantener una central eficiente.

Usualmente el cargo por estos servicios se compone de un cargo fijo para todo el periodo del contrato de al menos 15 años y de un cargo variable que resulta del producto de las horas de operación de los equipos en un periodo y un costo por hora de operación.

Para este análisis se determina una erogación equivalente por periodo (i) de \$ 550,000.00 USD para todo el periodo de vida útil, por concepto Costo del Mantenimiento de las Turbinas de Gas.

**5.3.6 Costo por Consumo de Combustible.**

Para determinar el costo por consumo de combustible, toma relevancia un concepto importante llamado Régimen Térmico Medio Pesado (RTMP), el cual considera el régimen térmico de la central que resulta de la ponderación de dicho régimen térmico a las Cargas de 100%, 75% y 50% en función del tiempo de operación, mismo que se puede calcular como se indica a continuación sigue:

$$RTMP = \frac{(RT_{@100\%} \times a) + (RT_{@75\%} \times b) + (RT_{@50\%} \times c)}{(a + b + c)}$$

**Ecuación No. 22 Régimen Térmico Medio Pesado.<sup>91</sup>**

---

<sup>90</sup> Elaboración Propia.

Se considerarán los siguientes factores de ponderación:

a = 10.0, parte proporcional del tiempo en operación al 100% de carga.

b = 2.0, parte proporcional del tiempo en operación al 75% de carga.

c = 0.8, parte proporcional del tiempo en operación al 50% de carga.

Para este Proyecto, de acuerdo al balance térmico incluido en el Anexo 1, se obtienen los siguiente Regímenes Térmicos a las diferentes Cargas.

$RT_{@100\%} = 6159 \text{ kJ/kWh}$

$RT_{@75\%} = 6428 \text{ kJ/kWh}$

$RT_{@50\%} = 7072 \text{ kJ/kWh}$

Es importante mencionar que este tipo de centrales operan con mayor eficiencia, conforme se opera en su máxima capacidad, por lo que entre menor sea la capacidad eléctrica generada por variación de carga en equipos principales, se aumentará el régimen térmico con el que el ciclo combinado opera y por ende disminuye la eficiencia del mismo.

Otro de los factores que toma relevancia en la generación en ciclo combinado es el escenario del combustible que se deberá considerar ya que el mayor porcentaje del Costo Nivelado de Generación, es el asociado al consumo de combustible.

Es importante tomar en consideración las propiedades del combustible que se utilizarán, para este caso el combustible utilizado para determinar el Costo Nivelado de Generación (CNG) a condiciones estándar de 15 °C y 101.325 kPa, se indica en el siguiente cuadro:

ELEMENTO	% Mol
Metano C <sub>1</sub>	89.8
Etano C <sub>2</sub>	7.393
Propano C <sub>3</sub>	1.1
I-Butano iC <sub>4</sub>	0.114
N-Butano nC <sub>4</sub>	0.201
I-Pentano iC <sub>5</sub>	0.043
N-Pentano nC <sub>5</sub>	0.036
Hexano + C <sub>6</sub>	0.033
Nitrógeno N <sub>2</sub>	1.2
CO <sub>2</sub>	0.08

---

<sup>91</sup> Elaboración Propia.

Poder calorífico inferior en Base Seca kJ/kg	48490
Poder calorífico superior en Base Seca kJ/kg	53720
Gravedad específica (Densidad del aire 1.2045 kg/m3)	0.6131

**Cuadro 5.3 Composición del Combustible.<sup>92</sup>**

El poder calorífico es la cantidad de energía por unidad de masa o unidad de volumen de materia que se puede desprender al producirse una reacción química de oxidación.

El poder calorífico expresa la energía que puede liberar la unión química entre un combustible y el comburente y es igual a la energía que mantenía unidos los átomos en las moléculas de combustible (energía de enlace), menos la energía utilizada en la formación de nuevas moléculas en las materias (generalmente gases) formadas en la combustión.

En realidad, el poder calorífico de cada combustible tiene siempre el mismo valor, sin embargo, en la práctica común se han definido dos valores para cada uno de ellos, valores que se llaman poder calorífico superior (PCS) y poder calorífico inferior (PCI). La denominación poder calorífico superior (PCS) se utiliza para el calor verdaderamente producido en la reacción de combustión y poder calorífico inferior (PCI) para el calor realmente aprovechable, el producido sin tener en cuenta la energía de la condensación del agua y otros procesos de pequeña importancia. Por lo anterior tenemos una relación PCS/PCI de 1.11.

Del mismo modo se obtiene un escenario del precio del combustible para el periodo 2013-2047, mismo que fija los costos del combustible en los diferentes periodos de vida útil de la Central, quedando de la siguiente forma:

No.	Año	Precio del Combustible (Dólares/10 <sup>6</sup> kJ)	No.	Año	Precio del Combustible (Dólares/10 <sup>6</sup> kJ)
1	2017	5.3302	17	2033	7.8223
2	2018	5.5449	18	2034	7.9187
3	2019	5.8376	19	2035	8.0151
4	2020	6.2570	20	2036	8.1185
5	2021	6.4278	21	2037	8.2219
6	2022	6.5888	22	2038	8.3253
7	2023	6.6913	23	2039	8.4288
8	2024	6.7889	24	2040	8.5322
9	2025	6.8816	25	2041	8.6356
10	2026	7.0597	26	2042	8.7391

<sup>92</sup> AGA Reporte 5, Reporte 8 y estándar GPS 2145-09

11	2027	7.2432	27	2043	8.8425
12	2028	7.4322	28	2044	8.9459
13	2029	7.4825	29	2045	9.0493
14	2030	7.5332	30	2046	9.1528
15	2031	7.6295	31	2047	9.9675
16	2032	7.7259			

**Cuadro 5.4 Escenario de Costo de Gas Natural periodo (2013-2047).<sup>93</sup>**

Tomando en cuenta las consideraciones anteriores, el Costo por Consumo de Combustible, se determina de la siguiente forma:

$$\text{CostoCombustible } \$ = RTMP \times G_i \times CN_{\text{Combustible periodo } (i)} \times \frac{PCS}{PCI}$$

**Ecuación No. 23 Costo por Consumo de Combustible.<sup>94</sup>**

Donde:

Costo de Combustible = Costo por Consumo de Combustible para el periodo (i) en (\$-USD)

RTMP = Régimen Térmico Medio Pesado para el periodo (i) en (kJ / kWh)

$G_i$  = Generación Neta en el periodo (i) en (kWh)

$CN_{\text{Combustible}}$  = Costo Nivelado de Combustible del periodo (i) en (USD / 10<sup>6</sup> kJ)

$\frac{PCS}{PCI}$  = Relación de Poderes Caloríficos (1.11)

De la ecuación anterior se obtiene el Costo por Consumo de Combustible, misma que con ayuda de hoja de cálculo se obtiene para cada periodo (i), lo cual nos permite calcular el Valor Presente Neto por este concepto.

Una vez obteniendo el Valor Presente de los conceptos anteriores y haciendo uso de la Ecuación No. 10, se obtiene un Costo Nivelado de Generación de:

<sup>93</sup> Subdirección de Programación de la CFE, " Escenario de Precios de Combustibles 2013-2028" (2013).

<sup>94</sup> Elaboración Propia.



<b>CNG</b>	\$	<b>1.0279</b>	\$/kWh
------------	----	---------------	--------

## 5.4 Costo por Consumo Eléctrico Adicional de Auxiliares.

### 5.4.1 Caso 1

En este caso de análisis se considera que por un mal diseño, el equipo de bombeo seleccionado no opere en las condiciones de diseño esperadas; es decir, que el punto de funcionamiento de la bomba opere por encima de la carga dinámica de diseño (21.9 m) lo cual se traducirá en una reducción del flujo de enfriamiento. En la Fig. 4.7 se puede observar en la curva de la bomba que si se desplaza para operar a una mayor carga dinámica, se reduce el flujo de la bomba incidiendo en una reducción de generación eléctrica por disipación de carga térmica en el condensador.

Para valorar el impacto de este caso de análisis se realiza con ayuda del GT MASTER 25.0 un análisis de sensibilidad, reduciendo el flujo de agua de enfriamiento para diferentes cargas dinámica y se evalúa su impacto energético, que al ser proyectado para el periodo de vida útil de la central tiene dos afectaciones principales:

- 1) Incremento del costo nivelado de generación por reducción de la eficiencia de la Planta.
- 2) Reducción de producción de energía eléctrica que se deja de ingresar al sistema (pérdidas económicas).

En el siguiente cuadro se obtienen los principales parámetros de desempeño de la planta por variación del flujo de enfriamiento principal.

Base Case (Diseño) = 17,060 Kg/s = 17.060 m<sup>3</sup>/s

Caso 1 = 12,222Kg/s = 12.222 m<sup>3</sup>/s

Caso 2 = 14,444 Kg/s = 14.444 m<sup>3</sup>/s

Caso 3 = 16,666 Kg/s = 16.666 m<sup>3</sup>/s

Caso 4 = 18,888 Kg/s = 18.888 m<sup>3</sup>/s

Caso 5 = 21,111 Kg/s = 21.111 m<sup>3</sup>/s

Plant Summary	Unit	Base Case	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5
Computation Result Messages		Messages	Messages	Messages	Messages	Messages	Messages
1. Ambient pressure	bar	1.013	1.013	1.013	1.013	1.013	1.013
2. Ambient temperature	C	35.9	35.9	35.9	35.9	35.9	35.9
3. Ambient relative humidity	%	37	37	37	37	37	37
4. Plant gross output	kW	775222	772876	774258	775108	775656	776023
5. Plant net output	kW	757993	755659	757034	757879	758425	758790
6. Plant gross LHV heat rate	kJ/kWh	6021	6039	6028	6022	6018	6015
7. Plant net LHV heat rate	kJ/kWh	6158	6177	6166	6159	6154	6151
8. Plant gross elec eff	%	59.79	59.61	59.72	59.78	59.82	59.85
9. Plant net elec eff	%	58.46	58.28	58.39	58.45	58.5	58.52
26. Plant total auxiliaries	kW	16769	16448	16597	16743	17777	19466
ST Cycle	Unit	Base Case	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5
4. Plant total ST gross output	kW	276938	274594	275975	276824	277372	277738
5. Steam cycle gross eff	%	35.58	35.28	35.46	35.57	35.64	35.69
32. Condenser pressure	bar	0.0701	0.0797	0.0744	0.0706	0.0679	0.0658
33. Condenser saturation temp	C	39.05	41.46	40.15	39.19	38.46	37.88
35. Condenser coolant supply temp	C	29.84	29.84	29.84	29.84	29.84	29.84
36. Condenser coolant discharge temp	C	35.84	38.23	36.93	35.98	35.26	34.69
37. Condenser coolant mass flow	kg/s	17060	12222	14444	16667	18889	21111

**Cuadro 5.5 Análisis de sensibilidad por variación del flujo de enfriamiento.<sup>95</sup>**

Del análisis de sensibilidad anterior se obtienen las siguientes gráficas, es importante indicar que la variación de estos parámetros incrementará el precio nivelado de generación.

Este incremento en el precio nivelado de generación impactará económicamente en la generación de energía eléctrica para la proyección de vida útil del proyecto. Así mismo tendrá un impacto considerable en la energía que se deja de generar. Es importante ver que en el cuadro 5.5 la variación del flujo de agua de enfriamiento incide en el vacío del condensador incrementando o reduciendo la energía eléctrica generada.

<sup>95</sup> Elaboración propia con GT MATER 25.0.

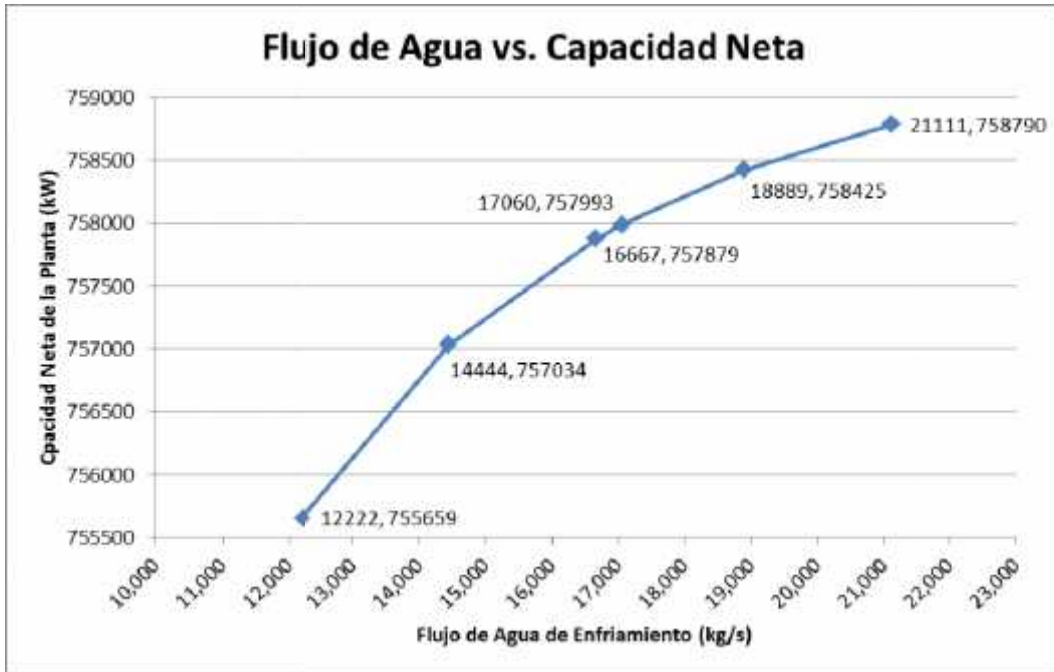


Fig. 5.2 Grafica de Flujo de Agua vs. Capacidad Neta.<sup>96</sup>

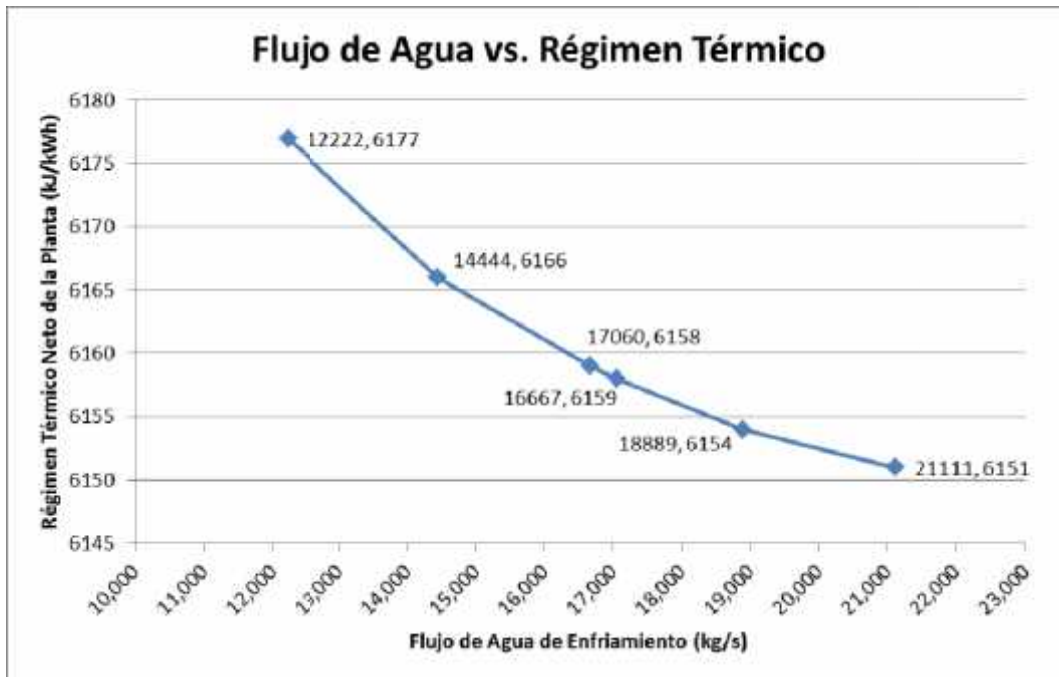


Fig. 5.3 Grafica de Flujo de Agua vs. Capacidad Neta.<sup>97</sup>

<sup>96</sup> Elaboración Propia.

<sup>97</sup> Elaboración Propia.

Los costos nivelados de generación por variación del flujo de agua de enfriamiento basado en la metodología del inciso 5.1 son los siguientes:

Flujo (kg/s)	CNG (\$/kWh)
12222	\$ 1.02857
14444	\$ 1.02816
16666	\$ 1.02793
17060	\$ 1.02790

**Cuadro 5.6 CNG por variación en flujo de agua de enfriamiento.<sup>98</sup>**

Del mismo modo para determinar el impacto por incremento del Costo Nivelado de Generación, se debe obtener la diferencia del CNG de diseño contra el CNG asociado a cada uno de los flujos de agua de enfriamiento. Una vez obtenida esta diferencia se multiplica por la sumatoria en valor presente de la energía generada proyectada en la vida útil de la planta como se indica en el Cuadro 5.7.

Impacto Económico por Incremento del Costo Nivelado de Generación				
Flujo (kg/s)	CNG (\$/kWh)	Diferencia vs. CNG de Diseño (\$/kWh)	Sumatoria en Energía Generada de Vida Útil (kWh)	Costos por Incremento de CNG (\$)
12222	\$ 1.02857	\$ 0.00067292	40865300814.46	\$ 27,499,182.21
14444	\$ 1.02816	\$ 0.00025883	40865300814.46	\$ 10,577,219.93
16666	\$ 1.02793	\$ 0.00002880	40865300814.46	\$ 1,176,782.73
17060	\$ 1.02790	\$ -	40865300814.46	\$ -

**Cuadro 5.7 Costos por incremento de CNG.<sup>99</sup>**

Tal como se mencionó anteriormente, el mayor impacto económico se dará por la energía que se dejaría de generar por la variación del flujo, por lo que se obtiene la diferencia de la sumatoria de energía generada con el flujo de agua de enfriamiento de diseño con las sumatorias de energía generada asociada a cada uno de los flujos de agua de enfriamiento.

Una vez obtenida esta diferencia en la sumatoria de energía, es multiplicada por el CNG obtenido con el flujo de diseño. En el Cuadro 5.8 se realiza el procedimiento

<sup>98</sup> Elaboración propia.

<sup>99</sup> Elaboración propia.

Impacto Económico por Reducción de la Energía Generada				
Flujo (kg/s)	CNG (\$/kWh)	Sumatoria en Energía Generada de Vida (kWh)	Diferencia vs. Energía Generada de Diseño (kWh)	Costos por Incremento de CNG (\$)
12222	1.02790102	40744683107.12	120617707.34	\$ 123,983,064.65
14444	1.02790102	40818822287.99	46478526.48	\$ 47,775,324.87
16666	1.02790102	40860124551.65	5176262.81	\$ 5,320,685.83
17060	1.02790102	40865300814.46	0.00	\$ -

**Cuadro 5.8 Costos reducción de energía generada.<sup>100</sup>**

De los cálculos anteriores se obtiene un costo total adicional para los diferentes flujos de agua de circulación como se indica a continuación

Flujo (kg/s)	CNG (\$/kWh)	VP Costo Total Adicional (\$)
12222	\$ 1.02857	\$ 151,482,246.86
14444	\$ 1.02816	\$ 58,352,544.80
16666	\$ 1.02793	\$ 6,497,468.56
17060	\$ 1.02790	\$ -

**Cuadro 5.9 Valor Presente de Costos Totales por variación del flujo.<sup>101</sup>**

#### 5.4.2 Caso 2

En este caso de estudio se considera que al incrementarse la carga dinámica, se seleccionará un equipo de bombeo que tenga la misma eficiencia y del mismo modo se seleccionara un motor eléctrico con la misma eficiencia que el de diseño. Este caso de análisis será el que menor impacto energético y económico tendrá, sin embargo para la proyección de vida útil del proyecto representa ahorros importantes.

La importancia de determinar el costo nivelado de generación nos ayuda a determinar el precio que cuesta generar un kWh de energía eléctrica en dicha Central, sin embargo para determinar el consumo adicional por diseños diferentes al óptimo, se realizan suposiciones de incrementos de la carga dinámica total que demanda el sistema de agua de enfriamiento

<sup>100</sup> Elaboración propia.

<sup>101</sup> Elaboración propia.

principal, para que en una análisis de sensibilidad (Anexo 3) se obtengan los costos en Valor Presente de diseñar un sistema diferente al óptimo y cuál es su impacto económico.

En el Capítulo 4, se determinó el consumo de energía eléctrica que se tienen en los motores eléctricos de las bombas de agua de enfriamiento, este consumo se incrementaría en caso de que la carga dinámica total del sistema se incremente. Para determinar el impacto energético por incremento de carga dinámica total, se han hecho las suposiciones de que las eficiencias de la bomba y del motor eléctrico permanecen constantes siendo estas 85% y 95% respectivamente.

En el siguiente Cuadro se obtiene el Consumo de energía eléctrica Total para las 2 (dos) Bombas del sistema de enfriamiento principal, a diferente cargas dinámicas totales del sistema, de ello se obtiene la diferencia del consumo eléctrico total respecto al consumo para la carga dinámica total de 21.9 m considerándola la óptima.

<b>Carga Dinámica</b>	<b>(m)</b>	21.9000	22.4000	22.9000	23.4000	23.9000
<b>Gravedad</b>	<b>(m/s<sup>2</sup>)</b>	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81
<b>Densidad</b>	<b>(kg/m<sup>3</sup>)</b>	1.0216	1.0216	1.0216	1.0216	1.0216
<b>Flujo</b>	<b>(m/s)</b>	8.53	8.53	8.53	8.53	8.53
<b>Potencia Hidráulica</b>	<b>(m)</b>	1872.1603	1914.9037	1957.6471	2000.3905	2043.1339
<b>Eficiencia Mecánica</b>	<b>(%)</b>	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
<b>Potencia de la Bomba</b>	<b>(kW)</b>	2202.5416	2252.8279	2303.1142	2353.4006	2403.6869
<b>Eficiencia del Motor</b>	<b>(%)</b>	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
<b>Potencia del Motor</b>	<b>(kW)</b>	2318.4648	2371.3978	2424.3308	2477.2638	2530.1967
<b>Numero de Bombas</b>		2	2	2	2	2
<b>Energía Eléctrica Total</b>	<b>(kW)</b>	4636.9296	4742.7956	4848.6615	4954.5275	5060.3935
<b>Δ Energía</b>	<b>(kW)</b>	0.0000	105.8660	211.7319	317.5979	423.4639

**Cuadro 5.10 Diferencias en Consumo Eléctrico por variación de Carga Dinámica.**<sup>102</sup>

Estas diferencia en consumo eléctrico adicional son sumadas para todos los periodos (i) de vida útil de la central (30 años), considerando cada periodo (i) de 730 horas obteniendo la Energía Consumida Adicional en kWh para este horizonte de vida útil multiplicado por el Factor de Planta esperado para cada periodo (i).

<sup>102</sup> Elaboración Propia

El Valor presente de la Energía Consumida adicional (kW-h), se multiplica por el Costo Nivelado de Generación (\$/kWh) obteniendo los Costos por Consumo Adicional de Energía.

	Carga Dinámica Total (m)								
	21.90	22.00	22.10	22.20	22.30	22.40	23.00	23.50	24.00
Energía Eléctrica (kW)	4636.9296	4658.1028	4679.2760	4700.4492	4721.6224	4742.7956	4869.8347	4975.7007	5081.5667
Δ Energía Eléctrica (kW)	0.0000	21.1732	42.3464	63.5196	84.6928	105.8660	232.9051	338.7711	444.6371
Valor Presente Energía Consumida Adicional (kW)	0.000	1161515.398	2283292.070	3424938.105	4566584.140	5708230.175	12558106.385	18266336.559	23974566.734
Costo Por Energía Consumida Adicional (\$)	\$ -	\$ 1,193,923	\$ 2,346,998	\$ 3,520,497	\$ 4,693,997	\$ 5,867,496	\$ 12,908,490	\$ 18,775,986	\$ 24,643,482

**Cuadro 5.11 Costos Nivelados por variación de Carga Dinámica.**<sup>103</sup>

En el Anexo 3 se incorpora la tabla que con la ayuda de hoja de cálculo se presentan las variaciones en costos, por variaciones de la Carga dinámica del sistema de enfriamiento principal en Valor Presente considerando la proyección en el tiempo basado en la vida útil de la planta.

## 5.5 Conclusiones del Capítulo 5.

El impacto económico que se puede tener durante la vida útil por no operar en el punto de diseño del sistema es muy alto (Caso 1), por dos premisas básicas:

- La energía que se deja de producir por bajar el flujo de agua de circulación incrementado la carga dinámica que ofrece la bomba.
- El régimen térmico al que se produce la energía de la planta que incrementa el Costo Nivelado de Generación.

Lo anterior incide en ahorros sustanciales, que derivan en pérdidas por venta de electricidad ó en su caso ofertar un precio más elevado de energía, de acuerdo a las condiciones de subastas eléctricas contempladas para el MEM.

El incremento de carga dinámica para un determinado equipo con misma eficiencia de bomba y de motor eléctrico, puede tener impactos económicos considerables dependiendo del incremento de carga dinámica del sistema, por lo que es importante diseñar para las condiciones del sitio mínimas para el desempeño funcional del sistema reduciendo en medida de lo posible pérdidas por fricción asociadas a tuberías, accesorios, nivel de bombeo válvulas, etc.

Sin duda la mayor afectación se produciría al tener el equipo de bombeo seleccionado y montado, en el que el sistema le requiera operar a una mayor carga dinámica, lo que provocaría desplazar el punto de funcionamiento sobre la curva de la bomba reduciendo flujo, y afectando sustancialmente los parámetros de desempeño de la central.

<sup>103</sup> Elaboración Propia

# **Conclusiones Generales**



Las centrales de ciclo combinado contienen una gran cantidad de sistemas para su funcionamiento que impactan en el consumo de energía por uso de equipos auxiliares en la planta, por lo que para sistemas que están operando continuamente es importante identificar los de mayor consumo. Lo anterior ayuda a poner especial atención en los criterios de diseño utilizados para el diseño de los sistemas de mayor consumo.

Existen criterios de diseño, normativas, legislaciones y condiciones asociadas a la ubicación del sitio donde está localizada la central que limita el óptimo diseño. Para el diseño de agua de enfriamiento la carga dinámica total del sistema está influenciada mayormente por la carga estática, misma que está limitada por las condiciones geográficas del sitio, ya que por un lado en la zona del cárcamo de bombeo debe considerarse el nivel de bajamar mínimo registrado (-3.7 MSNMM) y en la descarga del pozo de sellos debe considerarse un nivel mínimo que permita descargar el agua por gravedad en el canal, desde el pozo de sellos hasta el frente costero, respetando la velocidades máximas permitidas dicho canal limitado también por la disponibilidad de área para el mismo.

Otros factores que inciden en gran medida en la pérdidas de carga del sistema son las pérdidas del condensador y del sistema de limpieza (taprogge), valores que son garantizados por el suministrador de dichos equipos y que obligan a considerarlos en el diseño dado que estos forman parte de diseño probado por el suministrador del equipo a partir de sistemas que ya han sido puestos en servicio. Es importante que se determinen las rutas más directas, evitando trayectorias que incrementen el número accesorios en las tuberías.

Con base en el análisis anterior, se puede observar que el consumo eléctrico del sistema de agua de enfriamiento principal incide en considerablemente en el consumo de auxiliares de la central, es importante señalar que los análisis partan de parámetros iniciales de los balances térmicos, en los que se toman consideraciones para el diseño de los demás cálculos.

Las variaciones de consumo de energía adicional por incrementos de carga dinámica no son significativas respecto a la potencia de la central, sin embargo desde un punto de vista económico representan ahorros importantes, basados en la determinación del costo nivelado de generación.

Partiendo del balance térmico del proyecto para la condiciones de diseño de verano, en el que se tiene fijado un diferencial de temperatura de máximo 7°C entre la entrada y salida del agua de enfriamiento por cuestiones ambientales a fin de reducir los impactos sobre el ecosistema marino, se maximiza ese diferencial de temperatura hasta lo razonablemente posible, minimizando el consumo de flujo de agua que requiere el condensador para el funcionamiento del sistema y lograr disipar la carga térmica requerida para obtener la potencia esperada en la turbina de vapor de baja presión de acuerdo al balance térmico.

Se tiene claro que desde un punto de vista térmico, la temperatura de agua de enfriamiento incide en el vacío del condensador por el lado de vapor, lo cual beneficia enormemente la potencia generada en la turbina de vapor, sin embargo este parámetro está dado por

las condiciones climatológicas que no son posible cambiar. Existen parámetros dentro del condensador que pueden variarse para lograr una aproximación mayor de la temperatura de saturación del vapor con el del agua de enfriamiento que resultarían en principalmente en incrementar el área de transferencia en la tubería de titanio para el intercambio de calor, sin embargo para objeto de este estudio se utilizaron valores de presión y temperatura de condensadores de vanguardia que maximizan la potencia obtenida en la turbina de vapor.

El mayor impacto económico que se presenta cuando el sistema de bombeo no opera en el punto de diseño para un flujo y una carga dinámica determinada, lo cual implica que la bomba desplace su punto de funcionamiento sobre su curva que en caso de que el sistema requiera operar a una mayor carga dinámica, se reduce el flujo de operación, afectando la potencia generada como principal factor así como demás parámetros de operación como el régimen térmico.

En caso de que el sistema requiera una menor carga dinámica de la de diseño tiene menores implicaciones ya que puede regularse el flujo de agua de circulación mediante estrangulamiento, de esta forma llevarlo a su punto de funcionamiento.

El diseño de los sistemas auxiliares en una central de ciclo combinado debe considerar todos los aspectos operativos y normativos necesarios que promuevan el buen funcionamiento y desempeño en conjunto, logrando la mayor eficiencia energética que se traduzca en bajos costos de operación y por ende ofrecer costos competitivos de acuerdo al esquema del Mercado Eléctrico Mayorista que se plantea con la entrada en vigor de la Reforma Energética de 2014.

# Bibliografía

Bullis, Kevin (2012). *Las nuevas turbinas de gas GE, MIT Technology Review*.

White, Frank (2008). *Mecánica de Fluidos*.

Lencastre (1962). *Hidráulica General*.

Ingersoll-Rand Company (1979). *Cameron Hydraulic Data*.

Yunes, Cengel (2012). *Termodinámica*.

Yunes, Cengel (2007). *Transferencia de Calor y Masa*.

Aguera Soriano, José (2011). *Centrales Térmicas*.

Karassik, I. & Carter, R. (1978). *Bombas Centrifugas. Selección, Operación y Mantenimiento*.

U.S. Department of Energy (2015). "Levelized Cost of Energy".

Energiza.org (2011), *Especial de Turbinas*.

González, José Miguel (2009). *La Generación Eléctrica a partir de combustibles fósiles*.

International Energy Agency (2015). *World Energy Outlook*.

International Tower Tank Conference (2011). *Fresh water and sea water properties*.

Universidad Autónoma de Occidente (2015). *Ahorro de Energía en Sistemas de Bombeo*.

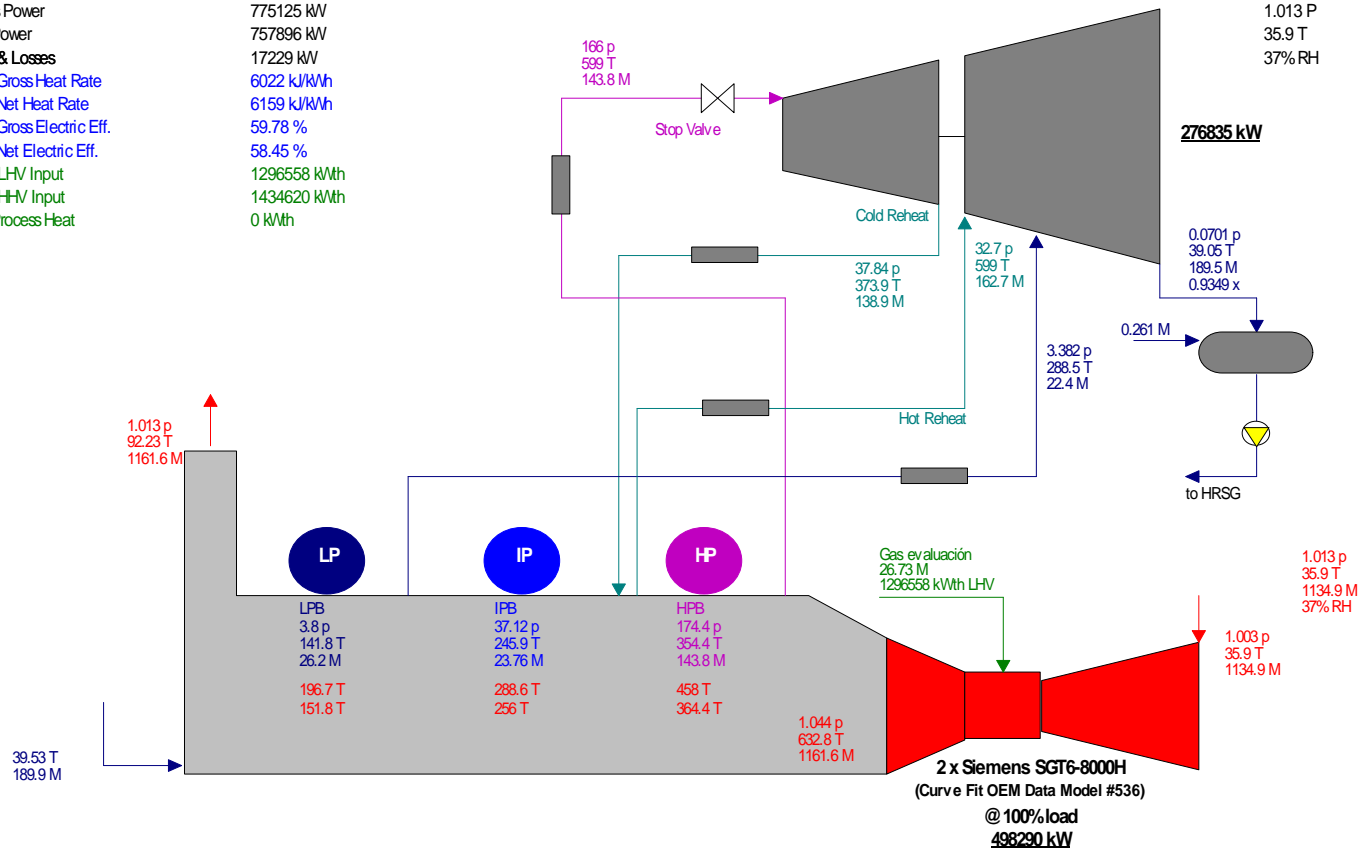
# Anexo 1

## BALANCE TERMICO AL 100% DE CARGA (DISEÑO DE VERANO)

GT PRO 25.0 Usuario  
 Gross Power  
 Net Power  
 Aux. & Losses  
 LHV Gross Heat Rate  
 LHV Net Heat Rate  
 LHV Gross Electric Eff.  
 LHV Net Electric Eff.  
 Fuel LHV Input  
 Fuel HHV Input  
 Net Process Heat

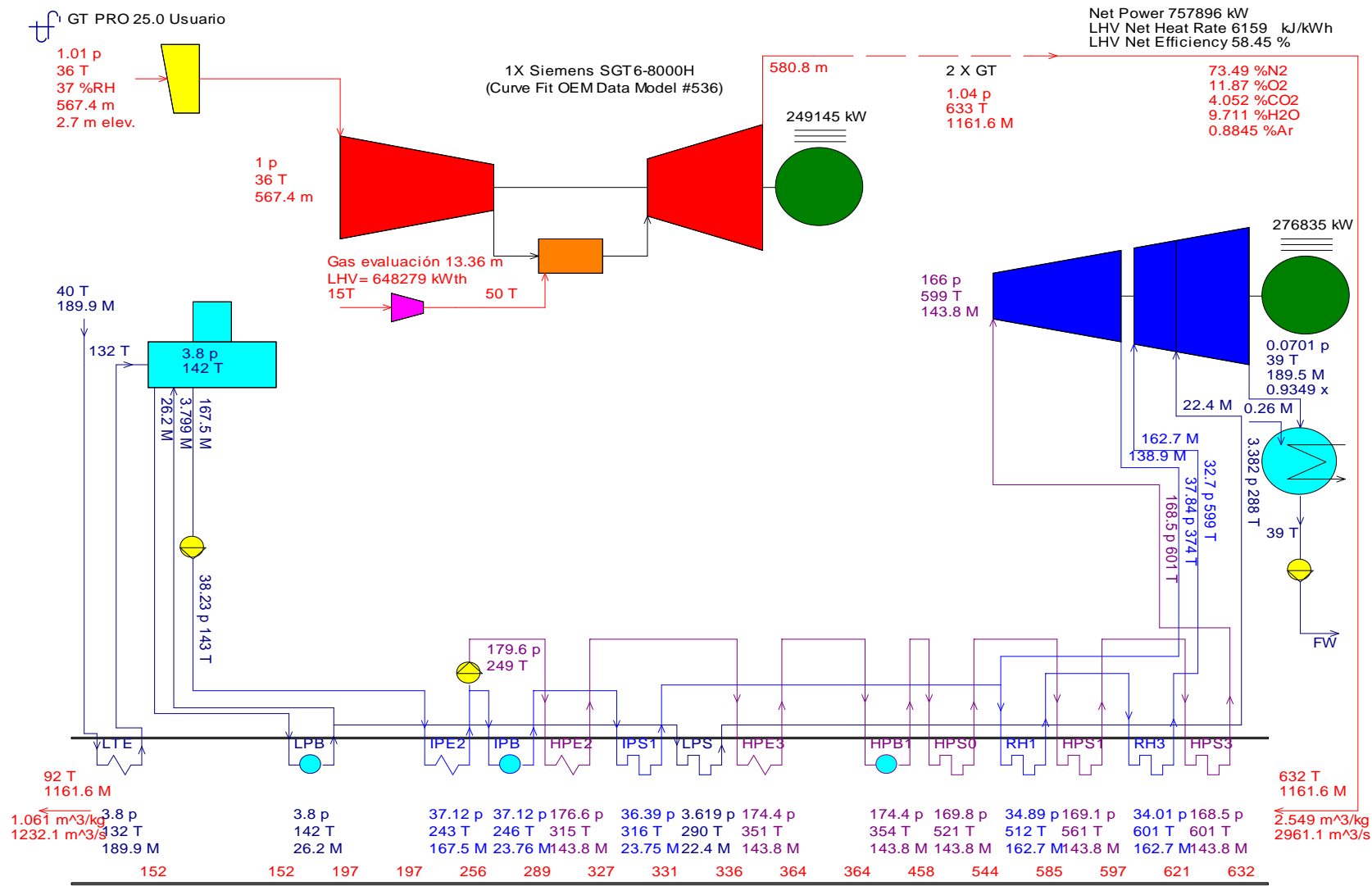
775125 kW  
 757896 kW  
 17229 kW  
 6022 kJ/kWh  
 6159 kJ/kWh  
 59.78 %  
 58.45 %  
 1296558 kWh  
 1434620 kWh  
 0 kWh

Ambient  
 1.013 P  
 35.9 T  
 37% RH

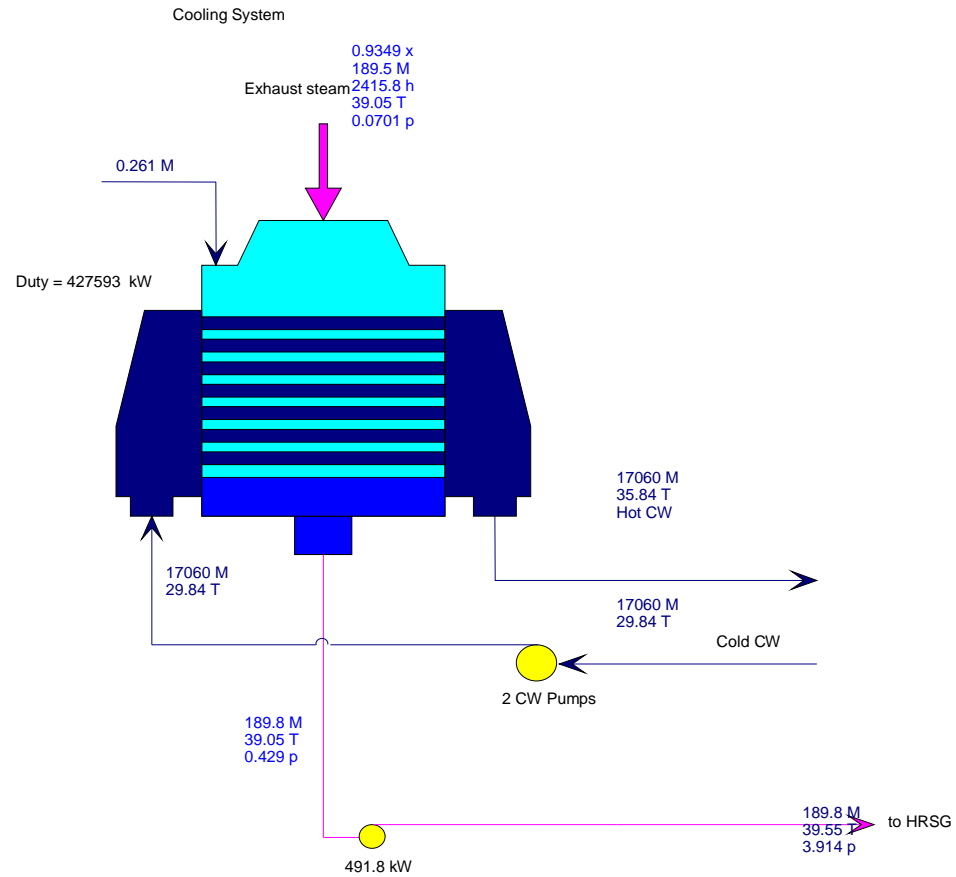


p [bar] T [C] M [kg/s], Steam Properties: IFC-67  
 1035 07-25-2016 11:36:38 file=C:\TFLOW25\MYFILES\GTPRO.GTP

GT PRO 25.0 Usuario



p[bar], T[C], M[kg/s], Steam Properties: IFC-67  
 1035 07-25-2016 11:36:38 file=C:\TFLOW25\MYFILES\GTPRO.GTP



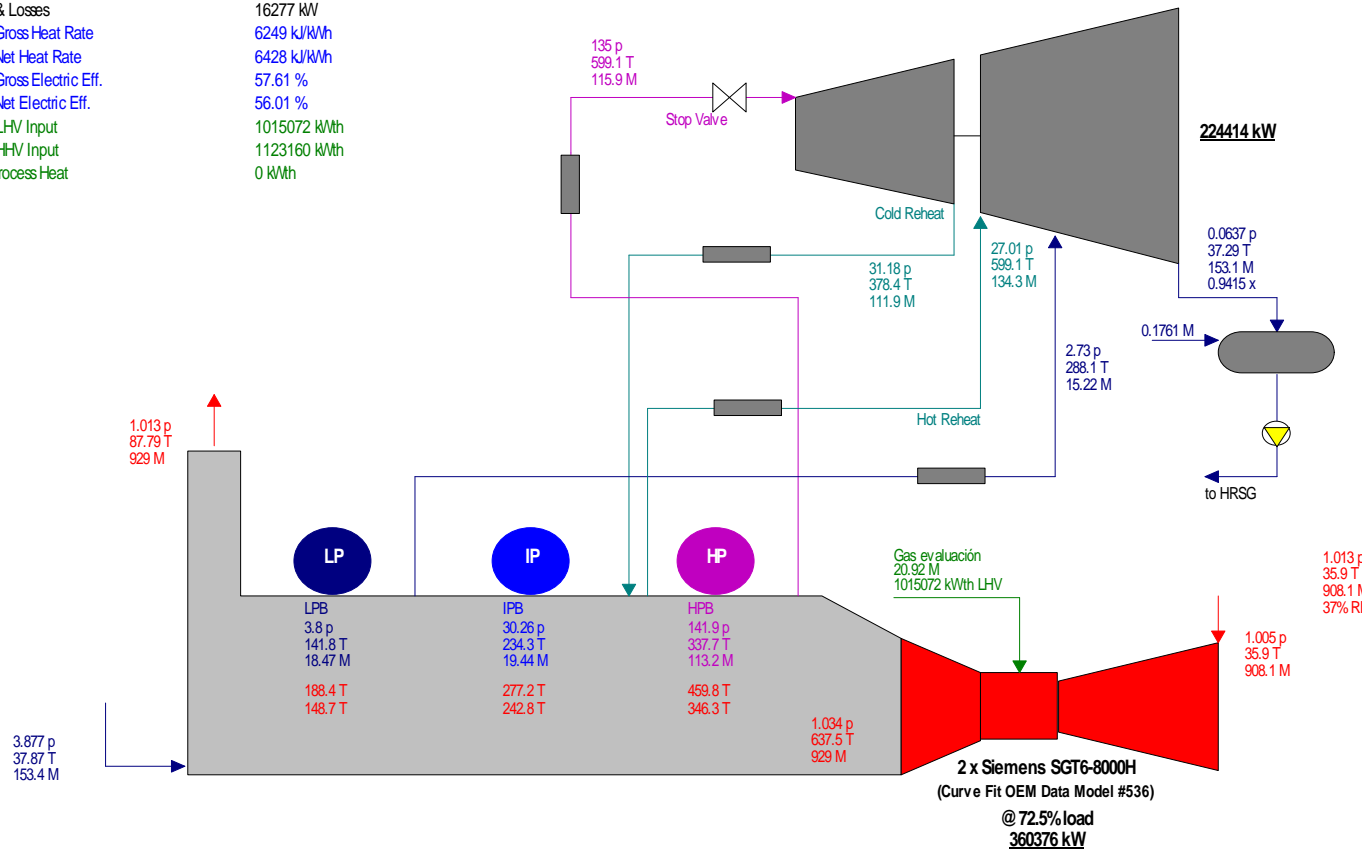
p[bar], T[C], M[kg/s], Steam Properties: IFC-67  
 1035 07-25-2016 11:36:38 file=C:\TFLOW25\MYFILES\GTPRO.GTP

## BALANCE TERMICO AL 75% DE CARGA (DISEÑO DE VERANO)

GT MASTER 25.0 Usuario

Gross Power 584791 kW  
 Net Power 568514 kW  
 Aux. & Losses 16277 kW  
 LHV Gross Heat Rate 6249 kJ/kWh  
 LHV Net Heat Rate 6428 kJ/kWh  
 LHV Gross Electric Eff. 57.61 %  
 LHV Net Electric Eff. 56.01 %  
 Fuel LHV Input 1015072 kWth  
 Fuel HHV Input 1123160 kWth  
 Net Process Heat 0 kWth

Ambient  
 1.013 P  
 35.9 T  
 37% RH

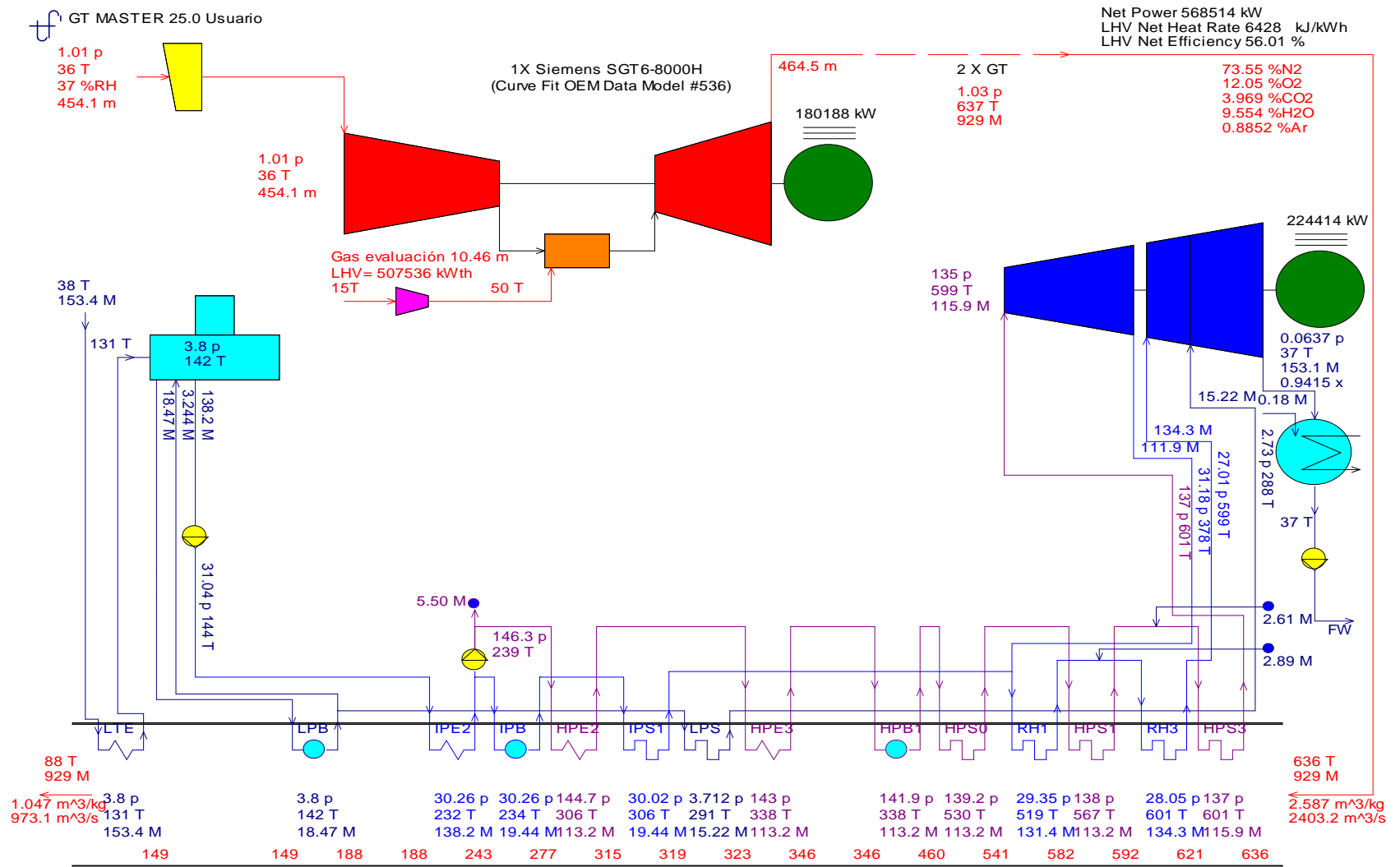


p [bar] T [C] M [kg/s], Steam Properties IFC-67

1035 07-25-2016 11:43:57 file=D:\usuario\OMAR\CFE\Simulaciones TFLOW\Tesis Toño Lemus 75% carga 25JULIO2016.gtm

GT MASTER 25.0 Usuario





p[bar], T[C], M[kg/s], Steam Properties: IFC-67

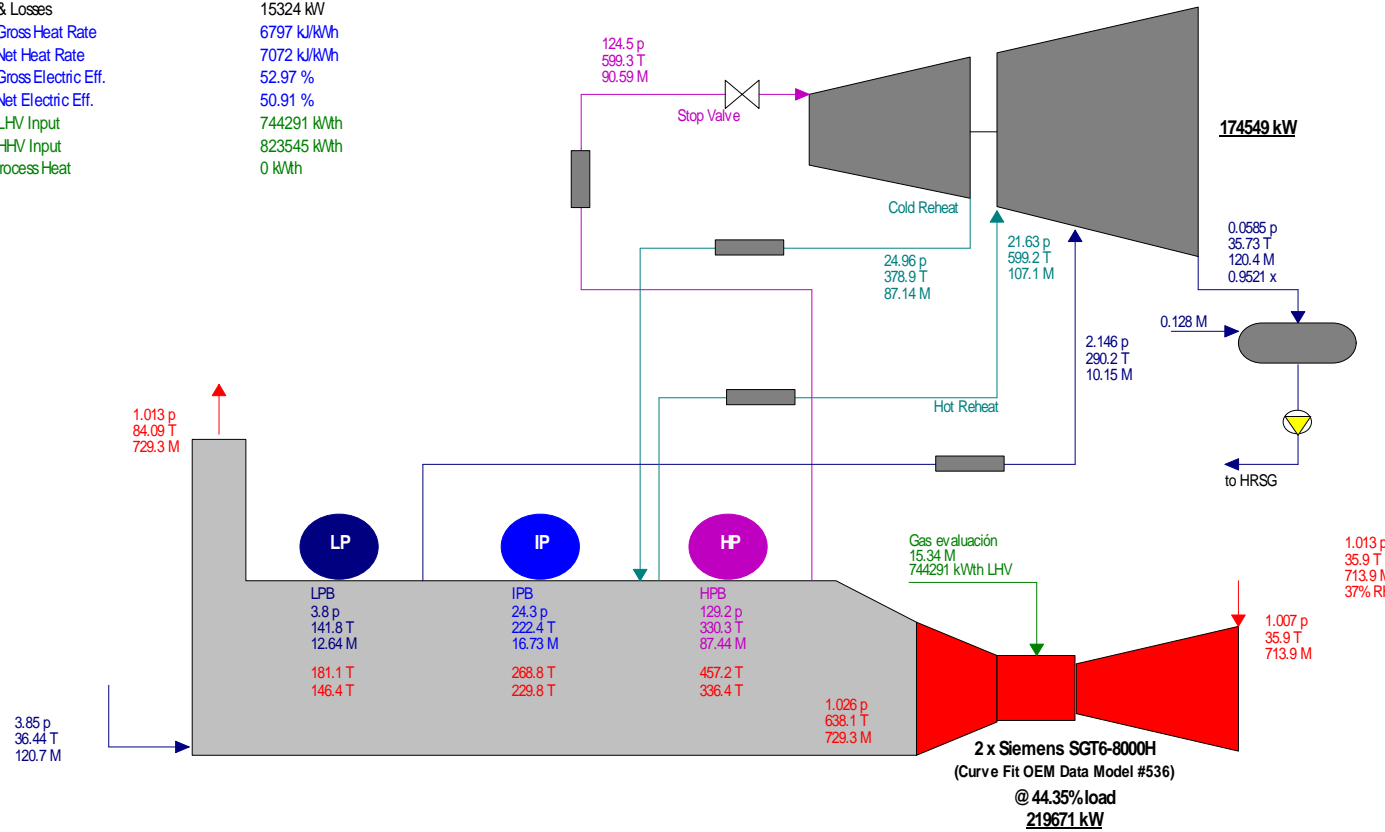
1035 07-25-2016 11:43:57 file=D:\usuario\OMAR\CFE\Simulaciones TFLOW\Tesis Toño Lemus 75% carga 25JULIO2016.gtm

## BALANCE TERMICO AL 50% DE CARGA (DISEÑO DE VERANO)

GT MASTER 25.0 Usuario

Gross Power	394219 kW
Net Power	378895 kW
Aux. & Losses	15324 kW
LHV Gross Heat Rate	6797 kJ/kWh
LHV Net Heat Rate	7072 kJ/kWh
LHV Gross Electric Eff.	52.97 %
LHV Net Electric Eff.	50.91 %
Fuel LHV Input	744291 kW/h
Fuel HHV Input	823545 kW/h
Net Process Heat	0 kW/h

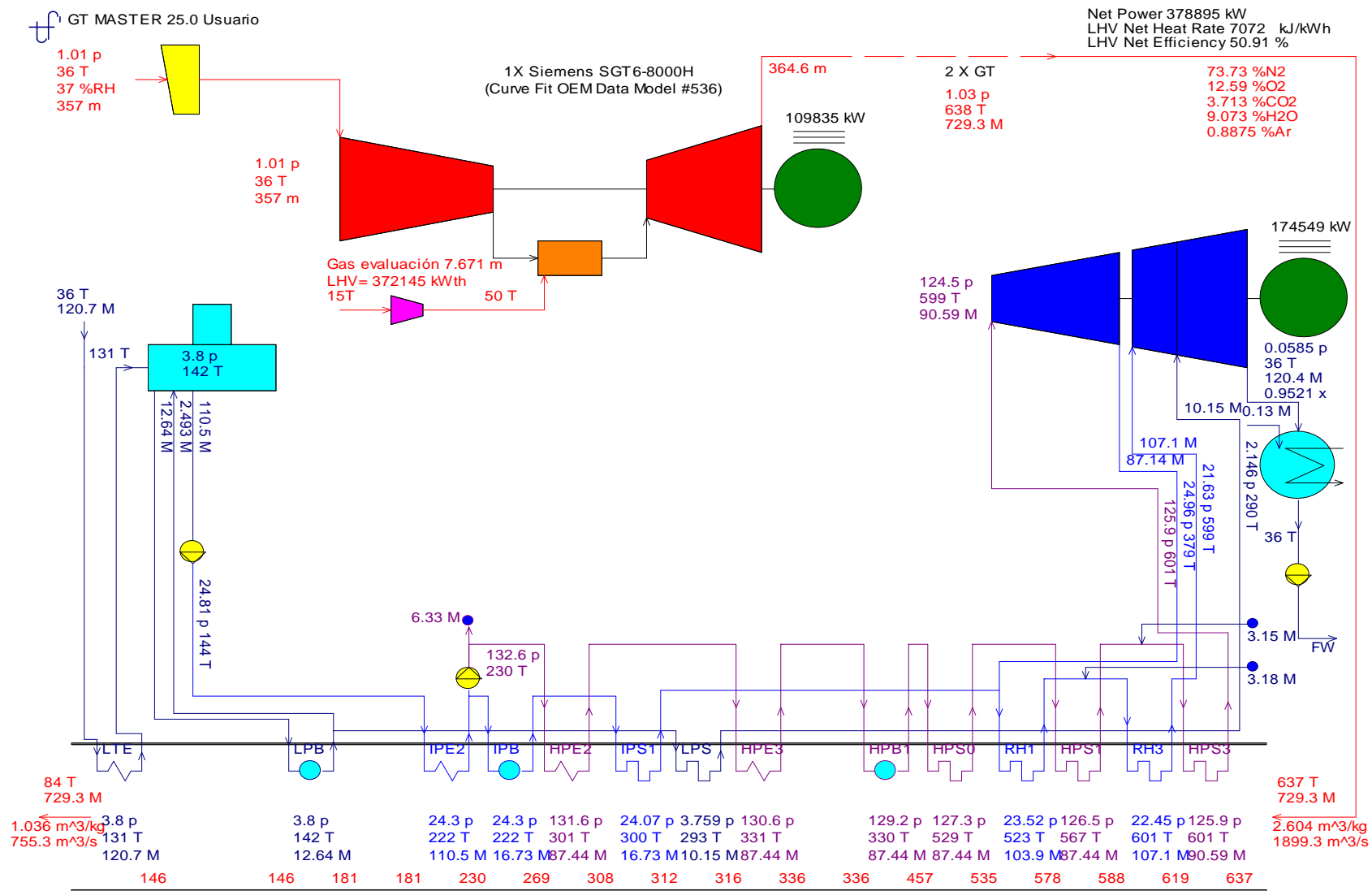
Ambient  
1.013 P  
35.9 T  
37% RH



p [bar] T [C] M [kg/s], Steam Properties IFC-67

1035 07-25-2016 11:46:06 file=D:\usuario\OMAR\CFE\Simulaciones TFLOWTesis Toño Lemus 50% carga 25JULIO2016.gtm

GT MASTER 25.0 Usuario



p[bar], T[C], M[kg/s], Steam Properties: IFC-67

1035 07-25-2016 11:46:06 file=D:\usuario\OMAR\CFE\Simulaciones TFLOW\Tesis Toño Lemus 50% carga 25JULIO2016.gtm

## **Anexo 2**

### Costo de Inversión de la Central

Mes	Mes (i)	Factor de Disponibilidad Equivalente Anual (FDEA) (%)	Factor de Carga (FC) (%)	Factor de Planta (FP) (%)	Generación Neta en el Mes i (Gi) (kWh)	$G_i / (1+t)^i$ (kWh)	Precio del Contrato (PC)	Valor Presente del Precio del Contrato (VP PC) (Dólares)	Valor Presente del Precio del Contrato (VP PC) (Pesos)
	(i)				178780537630.22	40865300814.46		\$ 493,881,076.90	\$8,518,806,531.10
ene-16	0								
feb-16	1								
mar-16	2								
abr-16	3								
may-16	4								
jun-16	5								
jul-16	6								
ago-16	7								
sep-16	8								
oct-16	9								
nov-16	10								
dic-16	11								
ene-17	12								
feb-17	13								
mar-17	14								
abr-17	15								
may-17	16								
jun-17	17								
jul-17	18								
ago-17	19								
sep-17	20								
oct-17	21								
nov-17	22								
dic-17	23								
ene-18	24						\$653,430,375.00	\$ 493,881,076.90	\$ 8,518,806,531.10

feb-18	25	99.50%	93.00%	92.54%	511962916.43	404297408.12
mar-18	26	99.50%	93.00%	92.54%	511962916.43	400497173.37
abr-18	27	99.50%	93.00%	92.54%	511962916.43	396732659.32
may-18	28	99.50%	93.00%	92.54%	511962916.43	393003530.20
jun-18	29	99.50%	93.00%	92.54%	511962916.43	389309453.40
jul-18	30	99.50%	93.00%	92.54%	511962916.43	385650099.47
ago-18	31	99.50%	93.00%	92.54%	511962916.43	382025142.00
sep-18	32	99.50%	93.00%	92.54%	511962916.43	378434257.69
oct-18	33	99.50%	93.00%	92.54%	511962916.43	374877126.26
nov-18	34	99.50%	93.00%	92.54%	511962916.43	371353430.45
dic-18	35	99.50%	93.00%	92.54%	511962916.43	367862855.98
ene-19	36	99.50%	93.00%	92.54%	511962916.43	364405091.53
feb-19	37	99.00%	93.00%	92.07%	509390238.46	359165859.69
mar-19	38	99.00%	93.00%	92.07%	509390238.46	355789843.54
abr-19	39	99.00%	93.00%	92.07%	509390238.46	352445560.59
may-19	40	99.00%	93.00%	92.07%	509390238.46	349132712.58
jun-19	41	99.00%	93.00%	92.07%	509390238.46	345851004.01
jul-19	42	99.00%	93.00%	92.07%	509390238.46	342600142.20
ago-19	43	99.00%	93.00%	92.07%	509390238.46	339379837.20
sep-19	44	99.00%	93.00%	92.07%	509390238.46	336189801.79
oct-19	45	99.00%	93.00%	92.07%	509390238.46	333029751.43
nov-19	46	99.00%	93.00%	92.07%	509390238.46	329899404.30
dic-19	47	99.00%	93.00%	92.07%	509390238.46	326798481.18
ene-20	48	99.00%	93.00%	92.07%	509390238.46	323726705.50
feb-20	49	98.50%	93.00%	91.61%	506817560.48	319064188.13
mar-20	50	98.50%	93.00%	91.61%	506817560.48	316065111.73
abr-20	51	98.50%	93.00%	91.61%	506817560.48	313094225.45
may-20	52	98.50%	93.00%	91.61%	506817560.48	310151264.33
jun-20	53	98.50%	93.00%	91.61%	506817560.48	307235965.87
jul-20	54	98.50%	93.00%	91.61%	506817560.48	304348070.05
ago-20	55	98.50%	93.00%	91.61%	506817560.48	301487319.30
sep-20	56	98.50%	93.00%	91.61%	506817560.48	298653458.48
oct-20	57	98.50%	93.00%	91.61%	506817560.48	295846234.81
nov-20	58	98.50%	93.00%	91.61%	506817560.48	293065397.94
dic-20	59	98.50%	93.00%	91.61%	506817560.48	290310699.82

ene-21	60	98.50%	93.00%	91.61%	506817560.48	287581894.77
feb-21	61	98.00%	93.00%	91.14%	504244882.51	283432654.43
mar-21	62	98.00%	93.00%	91.14%	504244882.51	280768500.27
abr-21	63	98.00%	93.00%	91.14%	504244882.51	278129388.09
may-21	64	98.00%	93.00%	91.14%	504244882.51	275515082.52
jun-21	65	98.00%	93.00%	91.14%	504244882.51	272925350.39
jul-21	66	98.00%	93.00%	91.14%	504244882.51	270359960.70
ago-21	67	98.00%	93.00%	91.14%	504244882.51	267818684.66
sep-21	68	98.00%	93.00%	91.14%	504244882.51	265301295.60
oct-21	69	98.00%	93.00%	91.14%	504244882.51	262807569.00
nov-21	70	98.00%	93.00%	91.14%	504244882.51	260337282.43
dic-21	71	98.00%	93.00%	91.14%	504244882.51	257890215.58
ene-22	72	98.00%	93.00%	91.14%	504244882.51	255466150.17
feb-22	73	97.50%	93.00%	90.68%	501672204.54	251773722.73
mar-22	74	97.50%	93.00%	90.68%	501672204.54	249407149.93
abr-22	75	97.50%	93.00%	90.68%	501672204.54	247062821.97
may-22	76	97.50%	93.00%	90.68%	501672204.54	244740529.76
jun-22	77	97.50%	93.00%	90.68%	501672204.54	242440066.17
jul-22	78	97.50%	93.00%	90.68%	501672204.54	240161226.03
ago-22	79	97.50%	93.00%	90.68%	501672204.54	237903806.07
sep-22	80	97.50%	93.00%	90.68%	501672204.54	235667604.97
oct-22	81	97.50%	93.00%	90.68%	501672204.54	233452423.26
nov-22	82	97.50%	93.00%	90.68%	501672204.54	231258063.38
dic-22	83	97.50%	93.00%	90.68%	501672204.54	229084329.62
ene-23	84	97.50%	93.00%	90.68%	501672204.54	226931028.08
feb-23	85	99.00%	93.00%	92.07%	509390238.46	228256396.98
mar-23	86	99.00%	93.00%	92.07%	509390238.46	226110877.68
abr-23	87	99.00%	93.00%	92.07%	509390238.46	223985525.41
may-23	88	99.00%	93.00%	92.07%	509390238.46	221880150.60
jun-23	89	99.00%	93.00%	92.07%	509390238.46	219794565.48
jul-23	90	99.00%	93.00%	92.07%	509390238.46	217728584.03
ago-23	91	99.00%	93.00%	92.07%	509390238.46	215682021.99
sep-23	92	99.00%	93.00%	92.07%	509390238.46	213654696.81
oct-23	93	99.00%	93.00%	92.07%	509390238.46	211646427.68
nov-23	94	99.00%	93.00%	92.07%	509390238.46	209657035.49

dic-23	95	99.00%	93.00%	92.07%	509390238.46	207686342.78
ene-24	96	99.00%	93.00%	92.07%	509390238.46	205734173.81
feb-24	97	98.50%	93.00%	91.61%	506817560.48	202771059.73
mar-24	98	98.50%	93.00%	91.61%	506817560.48	200865092.46
abr-24	99	98.50%	93.00%	91.61%	506817560.48	198977040.52
may-24	100	98.50%	93.00%	91.61%	506817560.48	197106735.52
jun-24	101	98.50%	93.00%	91.61%	506817560.48	195254010.64
jul-24	102	98.50%	93.00%	91.61%	506817560.48	193418700.64
ago-24	103	98.50%	93.00%	91.61%	506817560.48	191600641.83
sep-24	104	98.50%	93.00%	91.61%	506817560.48	189799672.04
oct-24	105	98.50%	93.00%	91.61%	506817560.48	188015630.65
nov-24	106	98.50%	93.00%	91.61%	506817560.48	186248358.54
dic-24	107	98.50%	93.00%	91.61%	506817560.48	184497698.09
ene-25	108	98.50%	93.00%	91.61%	506817560.48	182763493.15
feb-25	109	98.00%	93.00%	91.14%	504244882.51	180126575.90
mar-25	110	98.00%	93.00%	91.14%	504244882.51	178433457.77
abr-25	111	98.00%	93.00%	91.14%	504244882.51	176756254.27
may-25	112	98.00%	93.00%	91.14%	504244882.51	175094815.82
jun-25	113	98.00%	93.00%	91.14%	504244882.51	173448994.23
jul-25	114	98.00%	93.00%	91.14%	504244882.51	171818642.70
ago-25	115	98.00%	93.00%	91.14%	504244882.51	170203615.84
sep-25	116	98.00%	93.00%	91.14%	504244882.51	168603769.58
oct-25	117	98.00%	93.00%	91.14%	504244882.51	167018961.24
nov-25	118	98.00%	93.00%	91.14%	504244882.51	165449049.47
dic-25	119	98.00%	93.00%	91.14%	504244882.51	163893894.24
ene-26	120	98.00%	93.00%	91.14%	504244882.51	162353356.86
feb-26	121	97.50%	93.00%	90.68%	501672204.54	160006752.46
mar-26	122	97.50%	93.00%	90.68%	501672204.54	158502752.66
abr-26	123	97.50%	93.00%	90.68%	501672204.54	157012889.86
may-26	124	97.50%	93.00%	90.68%	501672204.54	155537031.18
jun-26	125	97.50%	93.00%	90.68%	501672204.54	154075044.98
jul-26	126	97.50%	93.00%	90.68%	501672204.54	152626800.87
ago-26	127	97.50%	93.00%	90.68%	501672204.54	151192169.68
sep-26	128	97.50%	93.00%	90.68%	501672204.54	149771023.45
oct-26	129	97.50%	93.00%	90.68%	501672204.54	148363235.43



nov-26	130	97.50%	93.00%	90.68%	501672204.54	146968680.06
dic-26	131	97.50%	93.00%	90.68%	501672204.54	145587232.95
ene-27	132	97.50%	93.00%	90.68%	501672204.54	144218770.90
feb-27	133	97.00%	93.00%	90.21%	499099526.57	142130540.19
mar-27	134	97.00%	93.00%	90.21%	499099526.57	140794569.67
abr-27	135	97.00%	93.00%	90.21%	499099526.57	139471156.75
may-27	136	97.00%	93.00%	90.21%	499099526.57	138160183.37
jun-27	137	97.00%	93.00%	90.21%	499099526.57	136861532.63
jul-27	138	97.00%	93.00%	90.21%	499099526.57	135575088.69
ago-27	139	97.00%	93.00%	90.21%	499099526.57	134300736.80
sep-27	140	97.00%	93.00%	90.21%	499099526.57	133038363.32
oct-27	141	97.00%	93.00%	90.21%	499099526.57	131787855.65
nov-27	142	97.00%	93.00%	90.21%	499099526.57	130549102.25
dic-27	143	97.00%	93.00%	90.21%	499099526.57	129321992.64
ene-28	144	97.00%	93.00%	90.21%	499099526.57	128106417.37
feb-28	145	96.50%	93.00%	89.75%	496526848.60	126248132.62
mar-28	146	96.50%	93.00%	89.75%	496526848.60	125061450.42
abr-28	147	96.50%	93.00%	89.75%	496526848.60	123885922.55
may-28	148	96.50%	93.00%	89.75%	496526848.60	122721444.18
jun-28	149	96.50%	93.00%	89.75%	496526848.60	121567911.44
jul-28	150	96.50%	93.00%	89.75%	496526848.60	120425221.45
ago-28	151	96.50%	93.00%	89.75%	496526848.60	119293272.29
sep-28	152	96.50%	93.00%	89.75%	496526848.60	118171963.00
oct-28	153	96.50%	93.00%	89.75%	496526848.60	117061193.58
nov-28	154	96.50%	93.00%	89.75%	496526848.60	115960864.94
dic-28	155	96.50%	93.00%	89.75%	496526848.60	114870878.95
ene-29	156	96.50%	93.00%	89.75%	496526848.60	113791138.40
feb-29	157	98.00%	93.00%	91.14%	504244882.51	114473695.38
mar-29	158	98.00%	93.00%	91.14%	504244882.51	113397688.20
abr-29	159	98.00%	93.00%	91.14%	504244882.51	112331795.06
may-29	160	98.00%	93.00%	91.14%	504244882.51	111275920.89
jun-29	161	98.00%	93.00%	91.14%	504244882.51	110229971.51
jul-29	162	98.00%	93.00%	91.14%	504244882.51	109193853.65
ago-29	163	98.00%	93.00%	91.14%	504244882.51	108167474.87
sep-29	164	98.00%	93.00%	91.14%	504244882.51	107150743.65

oct-29	165	98.00%	93.00%	91.14%	504244882.51	106143569.30
nov-29	166	98.00%	93.00%	91.14%	504244882.51	105145861.99
dic-29	167	98.00%	93.00%	91.14%	504244882.51	104157532.73
ene-30	168	98.00%	93.00%	91.14%	504244882.51	103178493.37
feb-30	169	97.50%	93.00%	90.68%	501672204.54	101687183.86
mar-30	170	97.50%	93.00%	90.68%	501672204.54	100731364.79
abr-30	171	97.50%	93.00%	90.68%	501672204.54	99784530.05
may-30	172	97.50%	93.00%	90.68%	501672204.54	98846595.18
jun-30	173	97.50%	93.00%	90.68%	501672204.54	97917476.52
jul-30	174	97.50%	93.00%	90.68%	501672204.54	96997091.20
ago-30	175	97.50%	93.00%	90.68%	501672204.54	96085357.14
sep-30	176	97.50%	93.00%	90.68%	501672204.54	95182193.02
oct-30	177	97.50%	93.00%	90.68%	501672204.54	94287518.29
nov-30	178	97.50%	93.00%	90.68%	501672204.54	93401253.14
dic-30	179	97.50%	93.00%	90.68%	501672204.54	92523318.52
ene-31	180	97.50%	93.00%	90.68%	501672204.54	91653636.15
feb-31	181	97.00%	93.00%	90.21%	499099526.57	90326527.78
mar-31	182	97.00%	93.00%	90.21%	499099526.57	89477494.37
abr-31	183	97.00%	93.00%	90.21%	499099526.57	88636441.53
may-31	184	97.00%	93.00%	90.21%	499099526.57	87803294.25
jun-31	185	97.00%	93.00%	90.21%	499099526.57	86977978.22
jul-31	186	97.00%	93.00%	90.21%	499099526.57	86160419.84
ago-31	187	97.00%	93.00%	90.21%	499099526.57	85350546.18
sep-31	188	97.00%	93.00%	90.21%	499099526.57	84548285.01
oct-31	189	97.00%	93.00%	90.21%	499099526.57	83753564.78
nov-31	190	97.00%	93.00%	90.21%	499099526.57	82966314.60
dic-31	191	97.00%	93.00%	90.21%	499099526.57	82186464.26
ene-32	192	97.00%	93.00%	90.21%	499099526.57	81413944.20
feb-32	193	96.50%	93.00%	89.75%	496526848.60	80232970.65
mar-32	194	96.50%	93.00%	89.75%	496526848.60	79478812.65
abr-32	195	96.50%	93.00%	89.75%	496526848.60	78731743.44
may-32	196	96.50%	93.00%	89.75%	496526848.60	77991696.38
jun-32	197	96.50%	93.00%	89.75%	496526848.60	77258605.47
jul-32	198	96.50%	93.00%	89.75%	496526848.60	76532405.33
ago-32	199	96.50%	93.00%	89.75%	496526848.60	75813031.17

sep-32	200	96.50%	93.00%	89.75%	496526848.60	75100418.85
oct-32	201	96.50%	93.00%	89.75%	496526848.60	74394504.80
nov-32	202	96.50%	93.00%	89.75%	496526848.60	73695226.06
dic-32	203	96.50%	93.00%	89.75%	496526848.60	73002520.26
ene-33	204	96.50%	93.00%	89.75%	496526848.60	72316325.62
feb-33	205	96.00%	93.00%	89.28%	493954170.62	71265406.94
mar-33	206	96.00%	93.00%	89.28%	493954170.62	70595540.48
abr-33	207	96.00%	93.00%	89.28%	493954170.62	69931970.49
may-33	208	96.00%	93.00%	89.28%	493954170.62	69274637.79
jun-33	209	96.00%	93.00%	89.28%	493954170.62	68623483.77
jul-33	210	96.00%	93.00%	89.28%	493954170.62	67978450.33
ago-33	211	96.00%	93.00%	89.28%	493954170.62	67339479.95
sep-33	212	96.00%	93.00%	89.28%	493954170.62	66706515.63
oct-33	213	96.00%	93.00%	89.28%	493954170.62	66079500.93
nov-33	214	96.00%	93.00%	89.28%	493954170.62	65458379.92
dic-33	215	96.00%	93.00%	89.28%	493954170.62	64843097.19
ene-34	216	96.00%	93.00%	89.28%	493954170.62	64233597.88
feb-34	217	95.50%	93.00%	88.82%	491381492.65	63298422.27
mar-34	218	95.50%	93.00%	88.82%	491381492.65	62703442.29
abr-34	219	95.50%	93.00%	88.82%	491381492.65	62114054.89
may-34	220	95.50%	93.00%	88.82%	491381492.65	61530207.49
jun-34	221	95.50%	93.00%	88.82%	491381492.65	60951848.03
jul-34	222	95.50%	93.00%	88.82%	491381492.65	60378924.91
ago-34	223	95.50%	93.00%	88.82%	491381492.65	59811387.04
sep-34	224	95.50%	93.00%	88.82%	491381492.65	59249183.81
oct-34	225	95.50%	93.00%	88.82%	491381492.65	58692265.06
nov-34	226	95.50%	93.00%	88.82%	491381492.65	58140581.12
dic-34	227	95.50%	93.00%	88.82%	491381492.65	57594082.79
ene-35	228	95.50%	93.00%	88.82%	491381492.65	57052721.34
feb-35	229	97.00%	93.00%	90.21%	499099526.57	57404141.37
mar-35	230	97.00%	93.00%	90.21%	499099526.57	56864565.28
abr-35	231	97.00%	93.00%	90.21%	499099526.57	56330061.00
may-35	232	97.00%	93.00%	90.21%	499099526.57	55800580.84
jun-35	233	97.00%	93.00%	90.21%	499099526.57	55276077.58
jul-35	234	97.00%	93.00%	90.21%	499099526.57	54756504.45

ago-35	235	97.00%	93.00%	90.21%	499099526.57	54241815.10
sep-35	236	97.00%	93.00%	90.21%	499099526.57	53731963.62
oct-35	237	97.00%	93.00%	90.21%	499099526.57	53226904.55
nov-35	238	97.00%	93.00%	90.21%	499099526.57	52726592.83
dic-35	239	97.00%	93.00%	90.21%	499099526.57	52230983.84
ene-36	240	97.00%	93.00%	90.21%	499099526.57	51740033.37
feb-36	241	96.50%	93.00%	89.75%	496526848.60	50989503.33
mar-36	242	96.50%	93.00%	89.75%	496526848.60	50510222.29
abr-36	243	96.50%	93.00%	89.75%	496526848.60	50035446.30
may-36	244	96.50%	93.00%	89.75%	496526848.60	49565133.02
jun-36	245	96.50%	93.00%	89.75%	496526848.60	49099240.49
jul-36	246	96.50%	93.00%	89.75%	496526848.60	48637727.17
ago-36	247	96.50%	93.00%	89.75%	496526848.60	48180551.89
sep-36	248	96.50%	93.00%	89.75%	496526848.60	47727673.87
oct-36	249	96.50%	93.00%	89.75%	496526848.60	47279052.73
nov-36	250	96.50%	93.00%	89.75%	496526848.60	46834648.45
dic-36	251	96.50%	93.00%	89.75%	496526848.60	46394421.39
ene-37	252	96.50%	93.00%	89.75%	496526848.60	45958332.29
feb-37	253	96.00%	93.00%	89.28%	493954170.62	45290454.48
mar-37	254	96.00%	93.00%	89.28%	493954170.62	44864742.23
abr-37	255	96.00%	93.00%	89.28%	493954170.62	44443031.50
may-37	256	96.00%	93.00%	89.28%	493954170.62	44025284.69
jun-37	257	96.00%	93.00%	89.28%	493954170.62	43611464.54
jul-37	258	96.00%	93.00%	89.28%	493954170.62	43201534.12
ago-37	259	96.00%	93.00%	89.28%	493954170.62	42795456.90
sep-37	260	96.00%	93.00%	89.28%	493954170.62	42393196.63
oct-37	261	96.00%	93.00%	89.28%	493954170.62	41994717.45
nov-37	262	96.00%	93.00%	89.28%	493954170.62	41599983.82
dic-37	263	96.00%	93.00%	89.28%	493954170.62	41208960.53
ene-38	264	96.00%	93.00%	89.28%	493954170.62	40821612.70
feb-38	265	95.50%	93.00%	88.82%	491381492.65	40227291.69
mar-38	266	95.50%	93.00%	88.82%	491381492.65	39849171.16
abr-38	267	95.50%	93.00%	88.82%	491381492.65	39474604.80
may-38	268	95.50%	93.00%	88.82%	491381492.65	39103559.23
jun-38	269	95.50%	93.00%	88.82%	491381492.65	38736001.33

jul-38	270	95.50%	93.00%	88.82%	491381492.65	38371898.33
ago-38	271	95.50%	93.00%	88.82%	491381492.65	38011217.76
sep-38	272	95.50%	93.00%	88.82%	491381492.65	37653927.44
oct-38	273	95.50%	93.00%	88.82%	491381492.65	37299995.51
nov-38	274	95.50%	93.00%	88.82%	491381492.65	36949390.39
dic-38	275	95.50%	93.00%	88.82%	491381492.65	36602080.83
ene-39	276	95.50%	93.00%	88.82%	491381492.65	36258035.83
feb-39	277	95.00%	93.00%	88.35%	488808814.68	35729176.43
mar-39	278	95.00%	93.00%	88.35%	488808814.68	35393336.39
abr-39	279	95.00%	93.00%	88.35%	488808814.68	35060653.11
may-39	280	95.00%	93.00%	88.35%	488808814.68	34731096.92
jun-39	281	95.00%	93.00%	88.35%	488808814.68	34404638.43
jul-39	282	95.00%	93.00%	88.35%	488808814.68	34081248.52
ago-39	283	95.00%	93.00%	88.35%	488808814.68	33760898.35
sep-39	284	95.00%	93.00%	88.35%	488808814.68	33443559.34
oct-39	285	95.00%	93.00%	88.35%	488808814.68	33129203.19
nov-39	286	95.00%	93.00%	88.35%	488808814.68	32817801.86
dic-39	287	95.00%	93.00%	88.35%	488808814.68	32509327.58
ene-40	288	95.00%	93.00%	88.35%	488808814.68	32203752.84
feb-40	289	94.50%	93.00%	87.89%	486236136.71	31733150.11
mar-40	290	94.50%	93.00%	87.89%	486236136.71	31434871.13
abr-40	291	94.50%	93.00%	87.89%	486236136.71	31139395.85
may-40	292	94.50%	93.00%	87.89%	486236136.71	30846697.92
jun-40	293	94.50%	93.00%	87.89%	486236136.71	30556751.24
jul-40	294	94.50%	93.00%	87.89%	486236136.71	30269529.94
ago-40	295	94.50%	93.00%	87.89%	486236136.71	29985008.40
sep-40	296	94.50%	93.00%	87.89%	486236136.71	29703161.25
oct-40	297	94.50%	93.00%	87.89%	486236136.71	29423963.36
nov-40	298	94.50%	93.00%	87.89%	486236136.71	29147389.81
dic-40	299	94.50%	93.00%	87.89%	486236136.71	28873415.95
ene-41	300	94.50%	93.00%	87.89%	486236136.71	28602017.33
feb-41	301	96.00%	93.00%	89.28%	493954170.62	28782902.60
mar-41	302	96.00%	93.00%	89.28%	493954170.62	28512354.77
abr-41	303	96.00%	93.00%	89.28%	493954170.62	28244349.98
may-41	304	96.00%	93.00%	89.28%	493954170.62	27978864.33

jun-41	305	96.00%	93.00%	89.28%	493954170.62	27715874.14
jul-41	306	96.00%	93.00%	89.28%	493954170.62	27455355.95
ago-41	307	96.00%	93.00%	89.28%	493954170.62	27197286.53
sep-41	308	96.00%	93.00%	89.28%	493954170.62	26941642.86
oct-41	309	96.00%	93.00%	89.28%	493954170.62	26688402.14
nov-41	310	96.00%	93.00%	89.28%	493954170.62	26437541.78
dic-41	311	96.00%	93.00%	89.28%	493954170.62	26189039.41
ene-42	312	96.00%	93.00%	89.28%	493954170.62	25942872.86
feb-42	313	95.50%	93.00%	88.82%	491381492.65	25565171.11
mar-42	314	95.50%	93.00%	88.82%	491381492.65	25324868.68
abr-42	315	95.50%	93.00%	88.82%	491381492.65	25086824.99
may-42	316	95.50%	93.00%	88.82%	491381492.65	24851018.82
jun-42	317	95.50%	93.00%	88.82%	491381492.65	24617429.13
jul-42	318	95.50%	93.00%	88.82%	491381492.65	24386035.09
ago-42	319	95.50%	93.00%	88.82%	491381492.65	24156816.07
sep-42	320	95.50%	93.00%	88.82%	491381492.65	23929751.61
oct-42	321	95.50%	93.00%	88.82%	491381492.65	23704821.47
nov-42	322	95.50%	93.00%	88.82%	491381492.65	23482005.58
dic-42	323	95.50%	93.00%	88.82%	491381492.65	23261284.07
ene-43	324	95.50%	93.00%	88.82%	491381492.65	23042637.26
feb-43	325	95.00%	93.00%	88.35%	488808814.68	22706537.55
mar-43	326	95.00%	93.00%	88.35%	488808814.68	22493105.13
abr-43	327	95.00%	93.00%	88.35%	488808814.68	22281678.89
may-43	328	95.00%	93.00%	88.35%	488808814.68	22072239.98
jun-43	329	95.00%	93.00%	88.35%	488808814.68	21864769.70
jul-43	330	95.00%	93.00%	88.35%	488808814.68	21659249.57
ago-43	331	95.00%	93.00%	88.35%	488808814.68	21455661.24
sep-43	332	95.00%	93.00%	88.35%	488808814.68	21253986.57
oct-43	333	95.00%	93.00%	88.35%	488808814.68	21054207.55
nov-43	334	95.00%	93.00%	88.35%	488808814.68	20856306.38
dic-43	335	95.00%	93.00%	88.35%	488808814.68	20660265.40
ene-44	336	95.00%	93.00%	88.35%	488808814.68	20466067.12
feb-44	337	94.50%	93.00%	87.89%	486236136.71	20166990.58
mar-44	338	94.50%	93.00%	87.89%	486236136.71	19977428.90
abr-44	339	94.50%	93.00%	87.89%	486236136.71	19789649.01

may-44	340	94.50%	93.00%	87.89%	486236136.71	19603634.19
jun-44	341	94.50%	93.00%	87.89%	486236136.71	19419367.83
jul-44	342	94.50%	93.00%	87.89%	486236136.71	19236833.50
ago-44	343	94.50%	93.00%	87.89%	486236136.71	19056014.92
sep-44	344	94.50%	93.00%	87.89%	486236136.71	18876895.96
oct-44	345	94.50%	93.00%	87.89%	486236136.71	18699460.65
nov-44	346	94.50%	93.00%	87.89%	486236136.71	18523693.16
dic-44	347	94.50%	93.00%	87.89%	486236136.71	18349577.82
ene-45	348	94.50%	93.00%	87.89%	486236136.71	18177099.09
feb-45	349	94.00%	93.00%	87.42%	483663458.74	17910970.47
mar-45	350	94.00%	93.00%	87.42%	483663458.74	17742614.48
abr-45	351	94.00%	93.00%	87.42%	483663458.74	17575840.96
may-45	352	94.00%	93.00%	87.42%	483663458.74	17410635.05
jun-45	353	94.00%	93.00%	87.42%	483663458.74	17246982.01
jul-45	354	94.00%	93.00%	87.42%	483663458.74	17084867.24
ago-45	355	94.00%	93.00%	87.42%	483663458.74	16924276.29
sep-45	356	94.00%	93.00%	87.42%	483663458.74	16765194.83
oct-45	357	94.00%	93.00%	87.42%	483663458.74	16607608.67
nov-45	358	94.00%	93.00%	87.42%	483663458.74	16451503.75
dic-45	359	94.00%	93.00%	87.42%	483663458.74	16296866.17
ene-46	360	94.00%	93.00%	87.42%	483663458.74	16143682.11
feb-46	361	93.50%	93.00%	86.96%	481090780.76	15906874.42
mar-46	362	93.50%	93.00%	86.96%	481090780.76	15757356.13
abr-46	363	93.50%	93.00%	86.96%	481090780.76	15609243.26
may-46	364	93.50%	93.00%	86.96%	481090780.76	15462522.58
jun-46	365	93.50%	93.00%	86.96%	481090780.76	15317181.02
jul-46	366	93.50%	93.00%	86.96%	481090780.76	15173205.62
ago-46	367	93.50%	93.00%	86.96%	481090780.76	15030583.52
sep-46	368	93.50%	93.00%	86.96%	481090780.76	14889302.02
oct-46	369	93.50%	93.00%	86.96%	481090780.76	14749348.50
nov-46	370	93.50%	93.00%	86.96%	481090780.76	14610710.50
dic-46	371	93.50%	93.00%	86.96%	481090780.76	14473375.63
ene-47	372	93.50%	93.00%	86.96%	481090780.76	14337331.66
feb-47	373	93.00%	93.00%	86.49%	478518102.79	14126616.90
mar-47	374	93.00%	93.00%	86.49%	478518102.79	13993832.32

abr-47	375	93.00%	93.00%	86.49%	478518102.79	13862295.86
may-47	376	93.00%	93.00%	86.49%	478518102.79	13731995.80
jun-47	377	93.00%	93.00%	86.49%	478518102.79	13602920.50
jul-47	378	93.00%	93.00%	86.49%	478518102.79	13475058.46
ago-47	379	93.00%	93.00%	86.49%	478518102.79	13348398.28
sep-47	380	93.00%	93.00%	86.49%	478518102.79	13222928.64
oct-47	381	93.00%	93.00%	86.49%	478518102.79	13098638.38
nov-47	382	93.00%	93.00%	86.49%	478518102.79	12975516.39
dic-47	383	93.00%	93.00%	86.49%	478518102.79	12853551.70
ene-48	384	93.00%	93.00%	86.49%	478518102.79	12732733.43

### Costos de Operación y Mantenimiento

Mes	(i)	Valor Presente de Consumo de Hidrógeno del periodo i (VP CH)	Valor Presente del Costo de Consumo de Agua DM del periodo i (VP AD)	Costo por Mantenimiento de TG's (M. TG)	Valor Presente del Costo por Mantenimiento de TG's (M. TG)	Valor Presente del Costo por Mantenimiento de TG's (M. TG)	Precio del Combustible (CC)	Costo por Consumo de Combustible (CCC)	Valor Presente del Costo por Consumo de Combustible (VP CC)	Valor Presente del Costo por Consumo de Combustible (VP CC)
	(i)	(Pesos)	(Pesos)	(Dólares)	(Dólares)	(Pesos)	(Dlls./10^6KJ)	(Dólares)	(Dólares)	(Pesos)
		\$ 12,443,484.10	\$ 51,694,605.53		\$ 44,665,518.94	\$ 770,422,136.55			\$ 1,893,019,051.62	\$ 32,652,117,715.71
ene-16	0									
feb-16	1									
mar-16	2									
abr-16	3									
may-16	4									
jun-16	5									
jul-16	6									
ago-16	7									
sep-16	8									
oct-16	9									



nov-16	10																
dic-16	11																
ene-17	12																
feb-17	13																
mar-17	14																
abr-17	15																
may-17	16																
jun-17	17																
jul-17	18																
ago-17	19																
sep-17	20																
oct-17	21																
nov-17	22																
dic-17	23																
ene-18	24																
feb-18	25	\$	123,108.56	\$	511,436.22	\$	550,000.00	\$	434,335.31	\$	7,491,719.54	5.3302	\$18,956,015.41	\$	14,969,576.21	\$	258,205,729.26
mar-18	26	\$	121,951.39	\$	506,628.92	\$	550,000.00	\$	430,252.74	\$	7,421,300.36	5.3302	\$18,956,015.41	\$	14,828,868.16	\$	255,778,698.15
abr-18	27	\$	120,805.09	\$	501,866.81	\$	550,000.00	\$	426,208.53	\$	7,351,543.09	5.3302	\$18,956,015.41	\$	14,689,482.70	\$	253,374,480.18
may-18	28	\$	119,669.57	\$	497,149.47	\$	550,000.00	\$	422,202.34	\$	7,282,441.51	5.3302	\$18,956,015.41	\$	14,551,407.40	\$	250,992,860.89
jun-18	29	\$	118,544.73	\$	492,476.46	\$	550,000.00	\$	418,233.81	\$	7,213,989.46	5.3302	\$18,956,015.41	\$	14,414,629.97	\$	248,633,627.88
jul-18	30	\$	117,430.46	\$	487,847.38	\$	550,000.00	\$	414,302.58	\$	7,146,180.83	5.3302	\$18,956,015.41	\$	14,279,138.18	\$	246,296,570.72
ago-18	31	\$	116,326.66	\$	483,261.80	\$	550,000.00	\$	410,408.30	\$	7,079,009.57	5.3302	\$18,956,015.41	\$	14,144,919.96	\$	243,981,480.97
sep-18	32	\$	115,233.23	\$	478,719.34	\$	550,000.00	\$	406,550.62	\$	7,012,469.70	5.3302	\$18,956,015.41	\$	14,011,963.34	\$	241,688,152.14
oct-18	33	\$	114,150.08	\$	474,219.56	\$	550,000.00	\$	402,729.21	\$	6,946,555.28	5.3302	\$18,956,015.41	\$	13,880,256.46	\$	239,416,379.68
nov-18	34	\$	113,077.12	\$	469,762.09	\$	550,000.00	\$	398,943.71	\$	6,881,260.42	5.3302	\$18,956,015.41	\$	13,749,787.58	\$	237,165,960.99
dic-18	35	\$	112,014.24	\$	465,346.51	\$	550,000.00	\$	395,193.80	\$	6,816,579.31	5.3302	\$18,956,015.41	\$	13,620,545.05	\$	234,936,695.33
ene-19	36	\$	110,961.35	\$	460,972.44	\$	550,000.00	\$	391,479.14	\$	6,752,506.18	5.5449	\$19,719,562.08	\$	14,035,994.79	\$	242,102,663.28
feb-19	37	\$	109,366.00	\$	454,344.81	\$	550,000.00	\$	387,799.39	\$	6,689,035.31	5.5449	\$19,620,468.81	\$	13,834,192.36	\$	238,621,833.81
mar-19	38	\$	108,338.01	\$	450,074.15	\$	550,000.00	\$	384,154.23	\$	6,626,161.04	5.5449	\$19,620,468.81	\$	13,704,156.46	\$	236,378,883.53
abr-19	39	\$	107,319.67	\$	445,843.63	\$	550,000.00	\$	380,543.33	\$	6,563,877.76	5.5449	\$19,620,468.81	\$	13,575,342.84	\$	234,157,016.09
may-19	40	\$	106,310.91	\$	441,652.88	\$	550,000.00	\$	376,966.38	\$	6,502,179.92	5.5449	\$19,620,468.81	\$	13,447,740.02	\$	231,956,033.32
jun-19	41	\$	105,311.63	\$	437,501.52	\$	550,000.00	\$	373,423.04	\$	6,441,062.02	5.5449	\$19,620,468.81	\$	13,321,336.62	\$	229,775,738.92
jul-19	42	\$	104,321.74	\$	433,389.18	\$	550,000.00	\$	369,913.01	\$	6,380,518.60	5.5449	\$19,620,468.81	\$	13,196,121.35	\$	227,615,938.41
ago-19	43	\$	103,341.16	\$	429,315.49	\$	550,000.00	\$	366,435.98	\$	6,320,544.26	5.5449	\$19,620,468.81	\$	13,072,083.07	\$	225,476,439.17
sep-19	44	\$	102,369.79	\$	425,280.10	\$	550,000.00	\$	362,991.63	\$	6,261,133.66	5.5449	\$19,620,468.81	\$	12,949,210.69	\$	223,357,050.36

oct-19	45	\$	101,407.56	\$	421,282.64	\$	550,000.00	\$	359,579.65	\$	6,202,281.50	5.5449	\$19,620,468.81	\$	12,827,493.26	\$	221,257,582.97
nov-19	46	\$	100,454.37	\$	417,322.75	\$	550,000.00	\$	356,199.74	\$	6,143,982.52	5.5449	\$19,620,468.81	\$	12,706,919.93	\$	219,177,849.74
dic-19	47	\$	99,510.14	\$	413,400.08	\$	550,000.00	\$	352,851.61	\$	6,086,231.53	5.5449	\$19,620,468.81	\$	12,587,479.94	\$	217,117,665.17
ene-20	48	\$	98,574.78	\$	409,514.28	\$	550,000.00	\$	349,534.94	\$	6,029,023.37	5.8376	\$20,656,179.32	\$	13,127,375.39	\$	226,430,159.86
feb-20	49	\$	97,155.05	\$	403,616.20	\$	550,000.00	\$	346,249.45	\$	5,972,352.95	5.8376	\$20,551,855.18	\$	12,938,306.60	\$	223,168,969.06
mar-20	50	\$	96,241.83	\$	399,822.37	\$	550,000.00	\$	342,994.85	\$	5,916,215.21	5.8376	\$20,551,855.18	\$	12,816,691.67	\$	221,071,269.56
abr-20	51	\$	95,337.19	\$	396,064.20	\$	550,000.00	\$	339,770.83	\$	5,860,605.14	5.8376	\$20,551,855.18	\$	12,696,219.87	\$	218,993,287.60
may-20	52	\$	94,441.06	\$	392,341.35	\$	550,000.00	\$	336,577.12	\$	5,805,517.79	5.8376	\$20,551,855.18	\$	12,576,880.45	\$	216,934,837.84
jun-20	53	\$	93,553.35	\$	388,653.50	\$	550,000.00	\$	333,413.43	\$	5,750,948.23	5.8376	\$20,551,855.18	\$	12,458,662.78	\$	214,895,736.69
jul-20	54	\$	92,673.99	\$	385,000.31	\$	550,000.00	\$	330,279.48	\$	5,696,891.61	5.8376	\$20,551,855.18	\$	12,341,556.31	\$	212,875,802.29
ago-20	55	\$	91,802.89	\$	381,381.46	\$	550,000.00	\$	327,174.98	\$	5,643,343.09	5.8376	\$20,551,855.18	\$	12,225,550.59	\$	210,874,854.46
sep-20	56	\$	90,939.98	\$	377,796.62	\$	550,000.00	\$	324,099.67	\$	5,590,297.91	5.8376	\$20,551,855.18	\$	12,110,635.28	\$	208,892,714.74
oct-20	57	\$	90,085.18	\$	374,245.49	\$	550,000.00	\$	321,053.26	\$	5,537,751.34	5.8376	\$20,551,855.18	\$	11,996,800.13	\$	206,929,206.35
nov-20	58	\$	89,238.41	\$	370,727.73	\$	550,000.00	\$	318,035.49	\$	5,485,698.68	5.8376	\$20,551,855.18	\$	11,884,034.98	\$	204,984,154.16
dic-20	59	\$	88,399.61	\$	367,243.04	\$	550,000.00	\$	315,046.08	\$	5,434,135.29	5.8376	\$20,551,855.18	\$	11,772,329.78	\$	203,057,384.68
ene-21	60	\$	87,568.69	\$	363,791.10	\$	550,000.00	\$	312,084.77	\$	5,383,056.58	6.2570	\$22,028,394.87	\$	12,499,502.84	\$	215,600,174.56
feb-21	61	\$	86,305.24	\$	358,542.31	\$	550,000.00	\$	309,151.30	\$	5,332,457.99	6.2570	\$21,916,575.60	\$	12,319,159.63	\$	212,489,488.67
mar-21	62	\$	85,494.01	\$	355,172.15	\$	550,000.00	\$	306,245.40	\$	5,282,335.01	6.2570	\$21,916,575.60	\$	12,203,364.43	\$	210,492,172.04
abr-21	63	\$	84,690.40	\$	351,833.68	\$	550,000.00	\$	303,366.81	\$	5,232,683.16	6.2570	\$21,916,575.60	\$	12,088,657.66	\$	208,513,629.38
may-21	64	\$	83,894.34	\$	348,526.58	\$	550,000.00	\$	300,515.29	\$	5,183,498.02	6.2570	\$21,916,575.60	\$	11,975,029.09	\$	206,553,684.24
jun-21	65	\$	83,105.77	\$	345,250.57	\$	550,000.00	\$	297,690.56	\$	5,134,775.21	6.2570	\$21,916,575.60	\$	11,862,468.58	\$	204,612,161.81
jul-21	66	\$	82,324.61	\$	342,005.35	\$	550,000.00	\$	294,892.39	\$	5,086,510.36	6.2570	\$21,916,575.60	\$	11,750,966.10	\$	202,688,888.91
ago-21	67	\$	81,550.79	\$	338,790.64	\$	550,000.00	\$	292,120.52	\$	5,038,699.19	6.2570	\$21,916,575.60	\$	11,640,511.69	\$	200,783,694.01
sep-21	68	\$	80,784.24	\$	335,606.14	\$	550,000.00	\$	289,374.70	\$	4,991,337.42	6.2570	\$21,916,575.60	\$	11,531,095.51	\$	198,896,407.19
oct-21	69	\$	80,024.90	\$	332,451.57	\$	550,000.00	\$	286,654.69	\$	4,944,420.84	6.2570	\$21,916,575.60	\$	11,422,707.80	\$	197,026,860.11
nov-21	70	\$	79,272.70	\$	329,326.66	\$	550,000.00	\$	283,960.25	\$	4,897,945.25	6.2570	\$21,916,575.60	\$	11,315,338.90	\$	195,174,886.03
dic-21	71	\$	78,527.57	\$	326,231.12	\$	550,000.00	\$	281,291.14	\$	4,851,906.51	6.2570	\$21,916,575.60	\$	11,208,979.21	\$	193,340,319.77
ene-22	72	\$	77,789.44	\$	323,164.68	\$	550,000.00	\$	278,647.12	\$	4,806,300.52	6.4278	\$22,514,841.72	\$	11,406,719.51	\$	196,751,082.73
feb-22	73	\$	76,665.10	\$	318,493.76	\$	550,000.00	\$	276,027.94	\$	4,761,123.21	6.4278	\$22,399,970.08	\$	11,241,850.37	\$	193,907,304.42
mar-22	74	\$	75,944.48	\$	315,500.04	\$	550,000.00	\$	273,433.39	\$	4,716,370.55	6.4278	\$22,399,970.08	\$	11,136,181.45	\$	192,084,652.92
abr-22	75	\$	75,230.63	\$	312,534.47	\$	550,000.00	\$	270,863.23	\$	4,672,038.54	6.4278	\$22,399,970.08	\$	11,031,505.77	\$	190,279,133.62
may-22	76	\$	74,523.49	\$	309,596.77	\$	550,000.00	\$	268,317.22	\$	4,628,123.24	6.4278	\$22,399,970.08	\$	10,927,814.01	\$	188,490,585.48
jun-22	77	\$	73,823.00	\$	306,686.68	\$	550,000.00	\$	265,795.15	\$	4,584,620.72	6.4278	\$22,399,970.08	\$	10,825,096.91	\$	186,718,848.99
jul-22	78	\$	73,129.09	\$	303,803.95	\$	550,000.00	\$	263,296.78	\$	4,541,527.11	6.4278	\$22,399,970.08	\$	10,723,345.30	\$	184,963,766.11
ago-22	79	\$	72,441.71	\$	300,948.31	\$	550,000.00	\$	260,821.89	\$	4,498,838.56	6.4278	\$22,399,970.08	\$	10,622,550.12	\$	183,225,180.32

sep-22	80	\$	71,760.79	\$	298,119.52	\$	550,000.00	\$	258,370.27	\$	4,456,551.27	6.4278	\$22,399,970.08	\$	10,522,702.38	\$	181,502,936.53
oct-22	81	\$	71,086.26	\$	295,317.32	\$	550,000.00	\$	255,941.69	\$	4,414,661.46	6.4278	\$22,399,970.08	\$	10,423,793.16	\$	179,796,881.16
nov-22	82	\$	70,418.08	\$	292,541.45	\$	550,000.00	\$	253,535.94	\$	4,373,165.40	6.4278	\$22,399,970.08	\$	10,325,813.66	\$	178,106,862.02
dic-22	83	\$	69,756.18	\$	289,791.68	\$	550,000.00	\$	251,152.80	\$	4,332,059.39	6.4278	\$22,399,970.08	\$	10,228,755.12	\$	176,432,728.40
ene-23	84	\$	69,100.50	\$	287,067.75	\$	550,000.00	\$	248,792.07	\$	4,291,339.75	6.5888	\$22,961,032.22	\$	10,386,404.91	\$	179,151,982.30
feb-23	85	\$	69,504.07	\$	288,744.34	\$	550,000.00	\$	246,453.52	\$	4,251,002.86	6.5888	\$23,314,278.86	\$	10,447,065.71	\$	180,198,302.27
mar-23	86	\$	68,850.76	\$	286,030.26	\$	550,000.00	\$	244,136.96	\$	4,211,045.13	6.5888	\$23,314,278.86	\$	10,348,867.45	\$	178,504,509.93
abr-23	87	\$	68,203.59	\$	283,341.69	\$	550,000.00	\$	241,842.17	\$	4,171,462.98	6.5888	\$23,314,278.86	\$	10,251,592.21	\$	176,826,638.58
may-23	88	\$	67,562.51	\$	280,678.39	\$	550,000.00	\$	239,568.95	\$	4,132,252.89	6.5888	\$23,314,278.86	\$	10,155,231.32	\$	175,164,538.54
jun-23	89	\$	66,927.45	\$	278,040.13	\$	550,000.00	\$	237,317.09	\$	4,093,411.36	6.5888	\$23,314,278.86	\$	10,059,776.19	\$	173,518,061.58
jul-23	90	\$	66,298.35	\$	275,426.66	\$	550,000.00	\$	235,086.41	\$	4,054,934.92	6.5888	\$23,314,278.86	\$	9,965,218.30	\$	171,887,060.85
ago-23	91	\$	65,675.18	\$	272,837.76	\$	550,000.00	\$	232,876.69	\$	4,016,820.14	6.5888	\$23,314,278.86	\$	9,871,549.21	\$	170,271,390.88
sep-23	92	\$	65,057.86	\$	270,273.19	\$	550,000.00	\$	230,687.74	\$	3,979,063.63	6.5888	\$23,314,278.86	\$	9,778,760.58	\$	168,670,907.57
oct-23	93	\$	64,446.34	\$	267,732.73	\$	550,000.00	\$	228,519.37	\$	3,941,662.02	6.5888	\$23,314,278.86	\$	9,686,844.12	\$	167,085,468.16
nov-23	94	\$	63,840.57	\$	265,216.15	\$	550,000.00	\$	226,371.38	\$	3,904,611.96	6.5888	\$23,314,278.86	\$	9,595,791.64	\$	165,514,931.25
dic-23	95	\$	63,240.49	\$	262,723.22	\$	550,000.00	\$	224,243.58	\$	3,867,910.17	6.5888	\$23,314,278.86	\$	9,505,595.02	\$	163,959,156.76
ene-24	96	\$	62,646.06	\$	260,253.73	\$	550,000.00	\$	222,135.78	\$	3,831,553.35	6.6913	\$23,676,972.16	\$	9,562,731.94	\$	164,944,694.50
feb-24	97	\$	61,743.79	\$	256,505.39	\$	550,000.00	\$	220,047.79	\$	3,795,538.27	6.6913	\$23,557,391.49	\$	9,425,003.41	\$	162,569,056.37
mar-24	98	\$	61,163.42	\$	254,094.34	\$	550,000.00	\$	217,979.43	\$	3,759,861.72	6.6913	\$23,557,391.49	\$	9,336,412.13	\$	161,040,971.93
abr-24	99	\$	60,588.51	\$	251,705.96	\$	550,000.00	\$	215,930.51	\$	3,724,520.52	6.6913	\$23,557,391.49	\$	9,248,653.57	\$	159,527,250.88
may-24	100	\$	60,019.00	\$	249,340.02	\$	550,000.00	\$	213,900.85	\$	3,689,511.51	6.6913	\$23,557,391.49	\$	9,161,719.91	\$	158,027,758.21
jun-24	101	\$	59,454.85	\$	246,996.32	\$	550,000.00	\$	211,890.26	\$	3,654,831.57	6.6913	\$23,557,391.49	\$	9,075,603.39	\$	156,542,360.17
jul-24	102	\$	58,895.99	\$	244,674.66	\$	550,000.00	\$	209,898.58	\$	3,620,477.61	6.6913	\$23,557,391.49	\$	8,990,296.33	\$	155,070,924.28
ago-24	103	\$	58,342.40	\$	242,374.81	\$	550,000.00	\$	207,925.62	\$	3,586,446.56	6.6913	\$23,557,391.49	\$	8,905,791.12	\$	153,613,319.30
sep-24	104	\$	57,794.00	\$	240,096.59	\$	550,000.00	\$	205,971.20	\$	3,552,735.39	6.6913	\$23,557,391.49	\$	8,822,080.23	\$	152,169,415.22
oct-24	105	\$	57,250.76	\$	237,839.77	\$	550,000.00	\$	204,035.15	\$	3,519,341.09	6.6913	\$23,557,391.49	\$	8,739,156.18	\$	150,739,083.28
nov-24	106	\$	56,712.63	\$	235,604.17	\$	550,000.00	\$	202,117.30	\$	3,486,260.68	6.6913	\$23,557,391.49	\$	8,657,011.59	\$	149,322,195.88
dic-24	107	\$	56,179.55	\$	233,389.59	\$	550,000.00	\$	200,217.48	\$	3,453,491.22	6.6913	\$23,557,391.49	\$	8,575,639.13	\$	147,918,626.66
ene-25	108	\$	55,651.48	\$	231,195.82	\$	550,000.00	\$	198,335.51	\$	3,421,029.78	6.7889	\$23,901,002.06	\$	8,618,940.95	\$	148,665,526.78
feb-25	109	\$	54,848.54	\$	227,860.12	\$	550,000.00	\$	196,471.24	\$	3,388,873.46	6.7889	\$23,779,677.18	\$	8,494,586.61	\$	146,520,576.03
mar-25	110	\$	54,332.99	\$	225,718.32	\$	550,000.00	\$	194,624.49	\$	3,357,019.40	6.7889	\$23,779,677.18	\$	8,414,740.87	\$	145,143,340.92
abr-25	111	\$	53,822.28	\$	223,596.66	\$	550,000.00	\$	192,795.09	\$	3,325,464.75	6.7889	\$23,779,677.18	\$	8,335,645.66	\$	143,779,051.28
may-25	112	\$	53,316.37	\$	221,494.94	\$	550,000.00	\$	190,982.90	\$	3,294,206.70	6.7889	\$23,779,677.18	\$	8,257,293.91	\$	142,427,585.41
jun-25	113	\$	52,815.22	\$	219,412.98	\$	550,000.00	\$	189,187.73	\$	3,263,242.47	6.7889	\$23,779,677.18	\$	8,179,678.63	\$	141,088,822.79
jul-25	114	\$	52,318.78	\$	217,350.58	\$	550,000.00	\$	187,409.44	\$	3,232,569.29	6.7889	\$23,779,677.18	\$	8,102,792.91	\$	139,762,644.00

ago-25	115	\$	51,827.00	\$	215,307.57	\$	550,000.00	\$	185,647.87	\$	3,202,184.43	6.7889	\$23,779,677.18	\$	8,026,629.88	\$	138,448,930.76
sep-25	116	\$	51,339.85	\$	213,283.77	\$	550,000.00	\$	183,902.85	\$	3,172,085.17	6.7889	\$23,779,677.18	\$	7,951,182.75	\$	137,147,565.91
oct-25	117	\$	50,857.27	\$	211,278.99	\$	550,000.00	\$	182,174.24	\$	3,142,268.83	6.7889	\$23,779,677.18	\$	7,876,444.80	\$	135,858,433.36
nov-25	118	\$	50,379.24	\$	209,293.05	\$	550,000.00	\$	180,461.88	\$	3,112,732.75	6.7889	\$23,779,677.18	\$	7,802,409.35	\$	134,581,418.15
dic-25	119	\$	49,905.69	\$	207,325.78	\$	550,000.00	\$	178,765.61	\$	3,083,474.30	6.7889	\$23,779,677.18	\$	7,729,069.81	\$	133,316,406.38
ene-26	120	\$	49,436.60	\$	205,377.00	\$	550,000.00	\$	177,085.28	\$	3,054,490.87	6.8816	\$24,104,380.16	\$	7,760,965.30	\$	133,866,562.11
feb-26	121	\$	48,722.06	\$	202,408.54	\$	550,000.00	\$	175,420.75	\$	3,025,779.87	6.8816	\$23,981,398.63	\$	7,648,790.74	\$	131,931,696.89
mar-26	122	\$	48,264.09	\$	200,505.98	\$	550,000.00	\$	173,771.86	\$	2,997,338.75	6.8816	\$23,981,398.63	\$	7,576,895.15	\$	130,691,591.44
abr-26	123	\$	47,810.42	\$	198,621.31	\$	550,000.00	\$	172,138.48	\$	2,969,164.95	6.8816	\$23,981,398.63	\$	7,505,675.35	\$	129,463,142.49
may-26	124	\$	47,361.03	\$	196,754.34	\$	550,000.00	\$	170,520.44	\$	2,941,255.99	6.8816	\$23,981,398.63	\$	7,435,124.99	\$	128,246,240.47
jun-26	125	\$	46,915.85	\$	194,904.93	\$	550,000.00	\$	168,917.62	\$	2,913,609.35	6.8816	\$23,981,398.63	\$	7,365,237.78	\$	127,040,776.85
jul-26	126	\$	46,474.86	\$	193,072.90	\$	550,000.00	\$	167,329.86	\$	2,886,222.58	6.8816	\$23,981,398.63	\$	7,296,007.47	\$	125,846,644.10
ago-26	127	\$	46,038.02	\$	191,258.09	\$	550,000.00	\$	165,757.03	\$	2,859,093.24	6.8816	\$23,981,398.63	\$	7,227,427.91	\$	124,663,735.72
sep-26	128	\$	45,605.28	\$	189,460.34	\$	550,000.00	\$	164,198.98	\$	2,832,218.90	6.8816	\$23,981,398.63	\$	7,159,492.96	\$	123,491,946.22
oct-26	129	\$	45,176.61	\$	187,679.49	\$	550,000.00	\$	162,655.57	\$	2,805,597.17	6.8816	\$23,981,398.63	\$	7,092,196.58	\$	122,331,171.07
nov-26	130	\$	44,751.96	\$	185,915.38	\$	550,000.00	\$	161,126.67	\$	2,779,225.67	6.8816	\$23,981,398.63	\$	7,025,532.75	\$	121,181,306.74
dic-26	131	\$	44,331.31	\$	184,167.85	\$	550,000.00	\$	159,612.15	\$	2,753,102.06	6.8816	\$23,981,398.63	\$	6,959,495.54	\$	120,042,250.68
ene-27	132	\$	43,914.62	\$	182,436.75	\$	550,000.00	\$	158,111.86	\$	2,727,223.99	7.0597	\$24,602,051.84	\$	7,072,502.01	\$	121,991,465.50
feb-27	133	\$	43,278.75	\$	179,795.13	\$	550,000.00	\$	156,625.67	\$	2,701,589.17	7.0597	\$24,475,887.47	\$	6,970,094.99	\$	120,225,077.37
mar-27	134	\$	42,871.95	\$	178,105.13	\$	550,000.00	\$	155,153.45	\$	2,676,195.31	7.0597	\$24,475,887.47	\$	6,904,578.87	\$	119,095,009.49
abr-27	135	\$	42,468.97	\$	176,431.01	\$	550,000.00	\$	153,695.07	\$	2,651,040.14	7.0597	\$24,475,887.47	\$	6,839,678.57	\$	117,975,563.79
may-27	136	\$	42,069.78	\$	174,772.63	\$	550,000.00	\$	152,250.40	\$	2,626,121.42	7.0597	\$24,475,887.47	\$	6,775,388.32	\$	116,866,640.44
jun-27	137	\$	41,674.34	\$	173,129.84	\$	550,000.00	\$	150,819.30	\$	2,601,436.92	7.0597	\$24,475,887.47	\$	6,711,702.36	\$	115,768,140.53
jul-27	138	\$	41,282.61	\$	171,502.49	\$	550,000.00	\$	149,401.66	\$	2,576,984.45	7.0597	\$24,475,887.47	\$	6,648,615.03	\$	114,679,966.07
ago-27	139	\$	40,894.57	\$	169,890.43	\$	550,000.00	\$	147,997.35	\$	2,552,761.82	7.0597	\$24,475,887.47	\$	6,586,120.69	\$	113,602,020.03
sep-27	140	\$	40,510.18	\$	168,293.53	\$	550,000.00	\$	146,606.23	\$	2,528,766.87	7.0597	\$24,475,887.47	\$	6,524,213.78	\$	112,534,206.25
oct-27	141	\$	40,129.40	\$	166,711.64	\$	550,000.00	\$	145,228.19	\$	2,504,997.47	7.0597	\$24,475,887.47	\$	6,462,888.77	\$	111,476,429.49
nov-27	142	\$	39,752.20	\$	165,144.61	\$	550,000.00	\$	143,863.10	\$	2,481,451.49	7.0597	\$24,475,887.47	\$	6,402,140.19	\$	110,428,595.41
dic-27	143	\$	39,378.55	\$	163,592.32	\$	550,000.00	\$	142,510.85	\$	2,458,126.84	7.0597	\$24,475,887.47	\$	6,341,962.62	\$	109,390,610.56
ene-28	144	\$	39,008.40	\$	162,054.62	\$	550,000.00	\$	141,171.30	\$	2,435,021.42	7.2432	\$25,112,079.56	\$	6,445,645.36	\$	111,179,003.05
feb-28	145	\$	38,442.56	\$	159,703.89	\$	550,000.00	\$	139,844.35	\$	2,412,133.19	7.2432	\$24,982,635.86	\$	6,352,146.18	\$	109,566,263.82
mar-28	146	\$	38,081.21	\$	158,202.73	\$	550,000.00	\$	138,529.87	\$	2,389,460.10	7.2432	\$24,982,635.86	\$	6,292,438.53	\$	108,536,384.54
abr-28	147	\$	37,723.26	\$	156,715.69	\$	550,000.00	\$	137,227.74	\$	2,367,000.12	7.2432	\$24,982,635.86	\$	6,233,292.12	\$	107,516,185.72
may-28	148	\$	37,368.68	\$	155,242.63	\$	550,000.00	\$	135,937.85	\$	2,344,751.26	7.2432	\$24,982,635.86	\$	6,174,701.65	\$	106,505,576.36
jun-28	149	\$	37,017.43	\$	153,783.41	\$	550,000.00	\$	134,660.09	\$	2,322,711.54	7.2432	\$24,982,635.86	\$	6,116,661.91	\$	105,504,466.32

jul-28	150	\$	36,669.48	\$	152,337.91	\$	550,000.00	\$	133,394.34	\$	2,300,878.97	7.2432	\$24,982,635.86	\$	6,059,167.72	\$	104,512,766.32
ago-28	151	\$	36,324.80	\$	150,905.99	\$	550,000.00	\$	132,140.49	\$	2,279,251.62	7.2432	\$24,982,635.86	\$	6,002,213.96	\$	103,530,387.91
sep-28	152	\$	35,983.36	\$	149,487.53	\$	550,000.00	\$	130,898.42	\$	2,257,827.57	7.2432	\$24,982,635.86	\$	5,945,795.54	\$	102,557,243.46
oct-28	153	\$	35,645.13	\$	148,082.41	\$	550,000.00	\$	129,668.03	\$	2,236,604.89	7.2432	\$24,982,635.86	\$	5,889,907.42	\$	101,593,246.19
nov-28	154	\$	35,310.08	\$	146,690.49	\$	550,000.00	\$	128,449.20	\$	2,215,581.69	7.2432	\$24,982,635.86	\$	5,834,544.64	\$	100,638,310.10
dic-28	155	\$	34,978.18	\$	145,311.66	\$	550,000.00	\$	127,241.83	\$	2,194,756.10	7.2432	\$24,982,635.86	\$	5,779,702.24	\$	99,692,350.03
ene-29	156	\$	34,649.40	\$	143,945.79	\$	550,000.00	\$	126,045.80	\$	2,174,126.27	7.4322	\$25,634,518.75	\$	5,874,770.07	\$	101,332,146.57
feb-29	157	\$	34,857.24	\$	144,809.22	\$	550,000.00	\$	124,861.02	\$	2,153,690.35	7.4322	\$26,032,982.77	\$	5,910,008.89	\$	101,939,970.38
mar-29	158	\$	34,529.60	\$	143,448.08	\$	550,000.00	\$	123,687.38	\$	2,133,446.52	7.4322	\$26,032,982.77	\$	5,854,457.16	\$	100,981,775.23
abr-29	159	\$	34,205.03	\$	142,099.72	\$	550,000.00	\$	122,524.77	\$	2,113,392.97	7.4322	\$26,032,982.77	\$	5,799,427.59	\$	100,032,586.73
may-29	160	\$	33,883.52	\$	140,764.04	\$	550,000.00	\$	121,373.08	\$	2,093,527.91	7.4322	\$26,032,982.77	\$	5,744,915.28	\$	99,092,320.22
jun-29	161	\$	33,565.03	\$	139,440.91	\$	550,000.00	\$	120,232.23	\$	2,073,849.58	7.4322	\$26,032,982.77	\$	5,690,915.36	\$	98,160,891.84
jul-29	162	\$	33,249.53	\$	138,130.22	\$	550,000.00	\$	119,102.09	\$	2,054,356.22	7.4322	\$26,032,982.77	\$	5,637,423.02	\$	97,238,218.52
ago-29	163	\$	32,937.00	\$	136,831.86	\$	550,000.00	\$	117,982.58	\$	2,035,046.09	7.4322	\$26,032,982.77	\$	5,584,433.49	\$	96,324,217.96
sep-29	164	\$	32,627.40	\$	135,545.69	\$	550,000.00	\$	116,873.59	\$	2,015,917.47	7.4322	\$26,032,982.77	\$	5,531,942.04	\$	95,418,808.65
oct-29	165	\$	32,320.72	\$	134,271.62	\$	550,000.00	\$	115,775.02	\$	1,996,968.65	7.4322	\$26,032,982.77	\$	5,479,943.99	\$	94,521,909.82
nov-29	166	\$	32,016.91	\$	133,009.52	\$	550,000.00	\$	114,686.78	\$	1,978,197.94	7.4322	\$26,032,982.77	\$	5,428,434.69	\$	93,633,441.48
dic-29	167	\$	31,715.97	\$	131,759.28	\$	550,000.00	\$	113,608.77	\$	1,959,603.66	7.4322	\$26,032,982.77	\$	5,377,409.57	\$	92,753,324.39
ene-30	168	\$	31,417.85	\$	130,520.79	\$	550,000.00	\$	112,540.90	\$	1,941,184.17	7.4825	\$26,209,170.04	\$	5,362,915.46	\$	92,503,319.94
feb-30	169	\$	30,963.75	\$	128,634.29	\$	550,000.00	\$	111,483.06	\$	1,922,937.81	7.4825	\$26,075,449.79	\$	5,285,401.57	\$	91,166,306.03
mar-30	170	\$	30,672.70	\$	127,425.18	\$	550,000.00	\$	110,435.16	\$	1,904,862.96	7.4825	\$26,075,449.79	\$	5,235,720.90	\$	90,309,379.03
abr-30	171	\$	30,384.39	\$	126,227.43	\$	550,000.00	\$	109,397.11	\$	1,886,958.01	7.4825	\$26,075,449.79	\$	5,186,507.20	\$	89,460,506.80
may-30	172	\$	30,098.79	\$	125,040.94	\$	550,000.00	\$	108,368.83	\$	1,869,221.35	7.4825	\$26,075,449.79	\$	5,137,756.10	\$	88,619,613.64
jun-30	173	\$	29,815.87	\$	123,865.61	\$	550,000.00	\$	107,350.20	\$	1,851,651.42	7.4825	\$26,075,449.79	\$	5,089,463.24	\$	87,786,624.54
jul-30	174	\$	29,535.61	\$	122,701.32	\$	550,000.00	\$	106,341.15	\$	1,834,246.63	7.4825	\$26,075,449.79	\$	5,041,624.31	\$	86,961,465.20
ago-30	175	\$	29,257.99	\$	121,547.98	\$	550,000.00	\$	105,341.59	\$	1,817,005.44	7.4825	\$26,075,449.79	\$	4,994,235.05	\$	86,144,062.03
sep-30	176	\$	28,982.98	\$	120,405.47	\$	550,000.00	\$	104,351.42	\$	1,799,926.31	7.4825	\$26,075,449.79	\$	4,947,291.22	\$	85,334,342.13
oct-30	177	\$	28,710.55	\$	119,273.71	\$	550,000.00	\$	103,370.56	\$	1,783,007.72	7.4825	\$26,075,449.79	\$	4,900,788.66	\$	84,532,233.27
nov-30	178	\$	28,440.68	\$	118,152.59	\$	550,000.00	\$	102,398.91	\$	1,766,248.16	7.4825	\$26,075,449.79	\$	4,854,723.19	\$	83,737,663.92
dic-30	179	\$	28,173.35	\$	117,042.00	\$	550,000.00	\$	101,436.41	\$	1,749,646.13	7.4825	\$26,075,449.79	\$	4,809,090.73	\$	82,950,563.20
ene-31	180	\$	27,908.53	\$	115,941.85	\$	550,000.00	\$	100,482.94	\$	1,733,200.15	7.5332	\$26,252,132.09	\$	4,796,166.38	\$	82,727,635.08
feb-31	181	\$	27,504.43	\$	114,263.06	\$	550,000.00	\$	99,538.44	\$	1,716,908.76	7.5332	\$26,117,505.77	\$	4,726,719.79	\$	81,529,771.67
mar-31	182	\$	27,245.90	\$	113,189.03	\$	550,000.00	\$	98,602.82	\$	1,700,770.50	7.5332	\$26,117,505.77	\$	4,682,290.51	\$	80,763,424.26
abr-31	183	\$	26,989.80	\$	112,125.10	\$	550,000.00	\$	97,675.99	\$	1,684,783.93	7.5332	\$26,117,505.77	\$	4,638,278.84	\$	80,004,280.21
may-31	184	\$	26,736.10	\$	111,071.17	\$	550,000.00	\$	96,757.88	\$	1,668,947.64	7.5332	\$26,117,505.77	\$	4,594,680.86	\$	79,252,271.82

jun-31	185	\$	26,484.79	\$	110,027.14	\$	550,000.00	\$	95,848.39	\$	1,653,260.19	7.5332	\$26,117,505.77	\$	4,551,492.69	\$	78,507,332.00
jul-31	186	\$	26,235.85	\$	108,992.93	\$	550,000.00	\$	94,947.46	\$	1,637,720.20	7.5332	\$26,117,505.77	\$	4,508,710.47	\$	77,769,394.32
ago-31	187	\$	25,989.24	\$	107,968.44	\$	550,000.00	\$	94,054.99	\$	1,622,326.29	7.5332	\$26,117,505.77	\$	4,466,330.39	\$	77,038,392.96
sep-31	188	\$	25,744.95	\$	106,953.58	\$	550,000.00	\$	93,170.91	\$	1,607,077.06	7.5332	\$26,117,505.77	\$	4,424,348.66	\$	76,314,262.73
oct-31	189	\$	25,502.96	\$	105,948.26	\$	550,000.00	\$	92,295.14	\$	1,591,971.18	7.5332	\$26,117,505.77	\$	4,382,761.54	\$	75,596,939.02
nov-31	190	\$	25,263.24	\$	104,952.39	\$	550,000.00	\$	91,427.60	\$	1,577,007.28	7.5332	\$26,117,505.77	\$	4,341,565.33	\$	74,886,357.88
dic-31	191	\$	25,025.78	\$	103,965.88	\$	550,000.00	\$	90,568.22	\$	1,562,184.04	7.5332	\$26,117,505.77	\$	4,300,756.34	\$	74,182,455.92
ene-32	192	\$	24,790.55	\$	102,988.64	\$	550,000.00	\$	89,716.91	\$	1,547,500.13	7.6295	\$26,451,376.61	\$	4,314,792.51	\$	74,424,561.57
feb-32	193	\$	24,430.94	\$	101,494.71	\$	550,000.00	\$	88,873.61	\$	1,532,954.25	7.6295	\$26,315,029.30	\$	4,252,203.04	\$	73,344,974.53
mar-32	194	\$	24,201.30	\$	100,540.70	\$	550,000.00	\$	88,038.23	\$	1,518,545.09	7.6295	\$26,315,029.30	\$	4,212,234.02	\$	72,655,560.96
abr-32	195	\$	23,973.82	\$	99,595.66	\$	550,000.00	\$	87,210.71	\$	1,504,271.37	7.6295	\$26,315,029.30	\$	4,172,640.70	\$	71,972,627.60
may-32	196	\$	23,748.47	\$	98,659.50	\$	550,000.00	\$	86,390.96	\$	1,490,131.82	7.6295	\$26,315,029.30	\$	4,133,419.54	\$	71,296,113.54
jun-32	197	\$	23,525.25	\$	97,732.14	\$	550,000.00	\$	85,578.92	\$	1,476,125.17	7.6295	\$26,315,029.30	\$	4,094,567.04	\$	70,625,958.44
jul-32	198	\$	23,304.12	\$	96,813.49	\$	550,000.00	\$	84,774.52	\$	1,462,250.18	7.6295	\$26,315,029.30	\$	4,056,079.74	\$	69,962,102.54
ago-32	199	\$	23,085.07	\$	95,903.48	\$	550,000.00	\$	83,977.67	\$	1,448,505.61	7.6295	\$26,315,029.30	\$	4,017,954.20	\$	69,304,486.62
sep-32	200	\$	22,868.08	\$	95,002.03	\$	550,000.00	\$	83,188.31	\$	1,434,890.24	7.6295	\$26,315,029.30	\$	3,980,187.03	\$	68,653,052.02
oct-32	201	\$	22,653.13	\$	94,109.05	\$	550,000.00	\$	82,406.37	\$	1,421,402.84	7.6295	\$26,315,029.30	\$	3,942,774.86	\$	68,007,740.65
nov-32	202	\$	22,440.20	\$	93,224.46	\$	550,000.00	\$	81,631.79	\$	1,408,042.22	7.6295	\$26,315,029.30	\$	3,905,714.34	\$	67,368,494.95
dic-32	203	\$	22,229.27	\$	92,348.19	\$	550,000.00	\$	80,864.48	\$	1,394,807.18	7.6295	\$26,315,029.30	\$	3,869,002.18	\$	66,735,257.91
ene-33	204	\$	22,020.32	\$	91,480.15	\$	550,000.00	\$	80,104.39	\$	1,381,696.55	7.7259	\$26,647,524.07	\$	3,881,061.08	\$	66,943,258.26
feb-33	205	\$	21,700.32	\$	90,150.74	\$	550,000.00	\$	79,351.44	\$	1,368,709.15	7.7259	\$26,509,454.00	\$	3,824,660.54	\$	65,970,422.33
mar-33	206	\$	21,496.34	\$	89,303.36	\$	550,000.00	\$	78,605.57	\$	1,355,843.83	7.7259	\$26,509,454.00	\$	3,788,710.26	\$	65,350,326.61
abr-33	207	\$	21,294.29	\$	88,463.94	\$	550,000.00	\$	77,866.71	\$	1,343,099.44	7.7259	\$26,509,454.00	\$	3,753,097.89	\$	64,736,059.54
may-33	208	\$	21,094.13	\$	87,632.42	\$	550,000.00	\$	77,134.79	\$	1,330,474.84	7.7259	\$26,509,454.00	\$	3,717,820.26	\$	64,127,566.35
jun-33	209	\$	20,895.85	\$	86,808.71	\$	550,000.00	\$	76,409.75	\$	1,317,968.90	7.7259	\$26,509,454.00	\$	3,682,874.23	\$	63,524,792.74
jul-33	210	\$	20,699.44	\$	85,992.74	\$	550,000.00	\$	75,691.53	\$	1,305,580.52	7.7259	\$26,509,454.00	\$	3,648,256.68	\$	62,927,684.97
ago-33	211	\$	20,504.87	\$	85,184.44	\$	550,000.00	\$	74,980.06	\$	1,293,308.58	7.7259	\$26,509,454.00	\$	3,613,964.52	\$	62,336,189.77
sep-33	212	\$	20,312.13	\$	84,383.74	\$	550,000.00	\$	74,275.28	\$	1,281,152.00	7.7259	\$26,509,454.00	\$	3,579,994.69	\$	61,750,254.39
oct-33	213	\$	20,121.21	\$	83,590.57	\$	550,000.00	\$	73,577.12	\$	1,269,109.68	7.7259	\$26,509,454.00	\$	3,546,344.16	\$	61,169,826.58
nov-33	214	\$	19,932.08	\$	82,804.85	\$	550,000.00	\$	72,885.52	\$	1,257,180.55	7.7259	\$26,509,454.00	\$	3,513,009.94	\$	60,594,854.55
dic-33	215	\$	19,744.72	\$	82,026.52	\$	550,000.00	\$	72,200.43	\$	1,245,363.55	7.7259	\$26,509,454.00	\$	3,479,989.04	\$	60,025,287.03
ene-34	216	\$	19,559.13	\$	81,255.50	\$	550,000.00	\$	71,521.77	\$	1,233,657.63	7.8223	\$26,840,225.99	\$	3,490,291.99	\$	60,202,999.40
feb-34	217	\$	19,274.37	\$	80,072.50	\$	550,000.00	\$	70,849.50	\$	1,222,061.74	7.8223	\$26,700,433.15	\$	3,439,476.90	\$	59,326,505.18
mar-34	218	\$	19,093.20	\$	79,319.85	\$	550,000.00	\$	70,183.54	\$	1,210,574.85	7.8223	\$26,700,433.15	\$	3,407,147.18	\$	58,768,859.64
abr-34	219	\$	18,913.73	\$	78,574.28	\$	550,000.00	\$	69,523.84	\$	1,199,195.93	7.8223	\$26,700,433.15	\$	3,375,121.36	\$	58,216,455.75

may-34	220	\$	18,735.95	\$	77,835.71	\$	550,000.00	\$	68,870.35	\$	1,187,923.96	7.8223	\$26,700,433.15	\$	3,343,396.56	\$	57,669,244.23
jun-34	221	\$	18,559.84	\$	77,104.09	\$	550,000.00	\$	68,222.99	\$	1,176,757.95	7.8223	\$26,700,433.15	\$	3,311,969.96	\$	57,127,176.29
jul-34	222	\$	18,385.38	\$	76,379.34	\$	550,000.00	\$	67,581.72	\$	1,165,696.89	7.8223	\$26,700,433.15	\$	3,280,838.76	\$	56,590,203.56
ago-34	223	\$	18,212.57	\$	75,661.40	\$	550,000.00	\$	66,946.48	\$	1,154,739.81	7.8223	\$26,700,433.15	\$	3,250,000.18	\$	56,058,278.17
sep-34	224	\$	18,041.38	\$	74,950.22	\$	550,000.00	\$	66,317.21	\$	1,143,885.71	7.8223	\$26,700,433.15	\$	3,219,451.48	\$	55,531,352.66
oct-34	225	\$	17,871.79	\$	74,245.72	\$	550,000.00	\$	65,693.86	\$	1,133,133.64	7.8223	\$26,700,433.15	\$	3,189,189.91	\$	55,009,380.04
nov-34	226	\$	17,703.81	\$	73,547.84	\$	550,000.00	\$	65,076.36	\$	1,122,482.64	7.8223	\$26,700,433.15	\$	3,159,212.80	\$	54,492,313.76
dic-34	227	\$	17,537.40	\$	72,856.51	\$	550,000.00	\$	64,464.67	\$	1,111,931.75	7.8223	\$26,700,433.15	\$	3,129,517.45	\$	53,980,107.70
ene-35	228	\$	17,372.55	\$	72,171.69	\$	550,000.00	\$	63,858.73	\$	1,101,480.03	7.9187	\$27,029,482.38	\$	3,138,306.08	\$	54,131,700.08
feb-35	229	\$	17,479.56	\$	72,616.24	\$	550,000.00	\$	63,258.48	\$	1,091,126.56	7.9187	\$27,454,029.22	\$	3,157,636.68	\$	54,465,127.88
mar-35	230	\$	17,315.26	\$	71,933.68	\$	550,000.00	\$	62,663.88	\$	1,080,870.40	7.9187	\$27,454,029.22	\$	3,127,956.16	\$	53,953,177.36
abr-35	231	\$	17,152.50	\$	71,257.53	\$	550,000.00	\$	62,074.86	\$	1,070,710.65	7.9187	\$27,454,029.22	\$	3,098,554.61	\$	53,446,038.96
may-35	232	\$	16,991.28	\$	70,587.73	\$	550,000.00	\$	61,491.38	\$	1,060,646.39	7.9187	\$27,454,029.22	\$	3,069,429.43	\$	52,943,667.46
jun-35	233	\$	16,831.57	\$	69,924.24	\$	550,000.00	\$	60,913.39	\$	1,050,676.74	7.9187	\$27,454,029.22	\$	3,040,578.02	\$	52,446,018.06
jul-35	234	\$	16,673.36	\$	69,266.98	\$	550,000.00	\$	60,340.83	\$	1,040,800.80	7.9187	\$27,454,029.22	\$	3,011,997.79	\$	51,953,046.36
ago-35	235	\$	16,516.63	\$	68,615.90	\$	550,000.00	\$	59,773.65	\$	1,031,017.68	7.9187	\$27,454,029.22	\$	2,983,686.21	\$	51,464,708.39
sep-35	236	\$	16,361.38	\$	67,970.93	\$	550,000.00	\$	59,211.80	\$	1,021,326.53	7.9187	\$27,454,029.22	\$	2,955,640.75	\$	50,980,960.62
oct-35	237	\$	16,207.59	\$	67,332.03	\$	550,000.00	\$	58,655.23	\$	1,011,726.46	7.9187	\$27,454,029.22	\$	2,927,858.90	\$	50,501,759.87
nov-35	238	\$	16,055.25	\$	66,699.14	\$	550,000.00	\$	58,103.89	\$	1,002,216.64	7.9187	\$27,454,029.22	\$	2,900,338.20	\$	50,027,063.43
dic-35	239	\$	15,904.33	\$	66,072.19	\$	550,000.00	\$	57,557.74	\$	992,796.20	7.9187	\$27,454,029.22	\$	2,873,076.17	\$	49,556,828.94
ene-36	240	\$	15,754.84	\$	65,451.14	\$	550,000.00	\$	57,016.72	\$	983,464.31	8.0151	\$27,788,246.76	\$	2,880,717.65	\$	49,688,634.51
feb-36	241	\$	15,526.30	\$	64,501.72	\$	550,000.00	\$	56,480.79	\$	974,220.14	8.0151	\$27,645,008.37	\$	2,838,930.56	\$	48,967,861.62
mar-36	242	\$	15,380.36	\$	63,895.43	\$	550,000.00	\$	55,949.89	\$	965,062.86	8.0151	\$27,645,008.37	\$	2,812,245.75	\$	48,507,583.21
abr-36	243	\$	15,235.79	\$	63,294.84	\$	550,000.00	\$	55,423.98	\$	955,991.65	8.0151	\$27,645,008.37	\$	2,785,811.76	\$	48,051,631.23
may-36	244	\$	15,092.58	\$	62,699.89	\$	550,000.00	\$	54,903.02	\$	947,005.71	8.0151	\$27,645,008.37	\$	2,759,626.23	\$	47,599,965.02
jun-36	245	\$	14,950.72	\$	62,110.54	\$	550,000.00	\$	54,386.95	\$	938,104.23	8.0151	\$27,645,008.37	\$	2,733,686.85	\$	47,152,544.29
jul-36	246	\$	14,810.19	\$	61,526.72	\$	550,000.00	\$	53,875.74	\$	929,286.43	8.0151	\$27,645,008.37	\$	2,707,991.28	\$	46,709,329.14
ago-36	247	\$	14,670.98	\$	60,948.40	\$	550,000.00	\$	53,369.33	\$	920,551.50	8.0151	\$27,645,008.37	\$	2,682,537.24	\$	46,270,280.03
sep-36	248	\$	14,533.08	\$	60,375.51	\$	550,000.00	\$	52,867.68	\$	911,898.69	8.0151	\$27,645,008.37	\$	2,657,322.45	\$	45,835,357.81
oct-36	249	\$	14,396.47	\$	59,808.00	\$	550,000.00	\$	52,370.74	\$	903,327.20	8.0151	\$27,645,008.37	\$	2,632,344.68	\$	45,404,523.69
nov-36	250	\$	14,261.15	\$	59,245.83	\$	550,000.00	\$	51,878.48	\$	894,836.28	8.0151	\$27,645,008.37	\$	2,607,601.69	\$	44,977,739.24
dic-36	251	\$	14,127.10	\$	58,688.94	\$	550,000.00	\$	51,390.84	\$	886,425.18	8.0151	\$27,645,008.37	\$	2,583,091.27	\$	44,554,966.39
ene-37	252	\$	13,994.31	\$	58,137.29	\$	550,000.00	\$	50,907.79	\$	878,093.14	8.1185	\$28,001,646.95	\$	2,591,821.57	\$	44,705,552.68
feb-37	253	\$	13,790.94	\$	57,292.42	\$	550,000.00	\$	50,429.27	\$	869,839.41	8.1185	\$27,856,560.70	\$	2,554,156.58	\$	44,055,880.57
mar-37	254	\$	13,661.31	\$	56,753.90	\$	550,000.00	\$	49,955.26	\$	861,663.27	8.1185	\$27,856,560.70	\$	2,530,148.52	\$	43,641,772.82

abr-37	255	\$	13,532.90	\$	56,220.43	\$	550,000.00	\$	49,485.70	\$	853,563.97	8.1185	\$27,856,560.70	\$	2,506,366.13	\$	43,231,557.52
may-37	256	\$	13,405.70	\$	55,691.99	\$	550,000.00	\$	49,020.55	\$	845,540.81	8.1185	\$27,856,560.70	\$	2,482,807.29	\$	42,825,198.08
jun-37	257	\$	13,279.69	\$	55,168.50	\$	550,000.00	\$	48,559.78	\$	837,593.06	8.1185	\$27,856,560.70	\$	2,459,469.89	\$	42,422,658.26
jul-37	258	\$	13,154.87	\$	54,649.94	\$	550,000.00	\$	48,103.34	\$	829,720.02	8.1185	\$27,856,560.70	\$	2,436,351.85	\$	42,023,902.16
ago-37	259	\$	13,031.22	\$	54,136.25	\$	550,000.00	\$	47,651.18	\$	821,920.99	8.1185	\$27,856,560.70	\$	2,413,451.11	\$	41,628,894.20
sep-37	260	\$	12,908.73	\$	53,627.39	\$	550,000.00	\$	47,203.28	\$	814,195.25	8.1185	\$27,856,560.70	\$	2,390,765.63	\$	41,237,599.16
oct-37	261	\$	12,787.39	\$	53,123.32	\$	550,000.00	\$	46,759.59	\$	806,542.14	8.1185	\$27,856,560.70	\$	2,368,293.39	\$	40,849,982.14
nov-37	262	\$	12,667.20	\$	52,623.98	\$	550,000.00	\$	46,320.07	\$	798,960.97	8.1185	\$27,856,560.70	\$	2,346,032.37	\$	40,466,008.56
dic-37	263	\$	12,548.13	\$	52,129.34	\$	550,000.00	\$	45,884.68	\$	791,451.05	8.1185	\$27,856,560.70	\$	2,323,980.60	\$	40,085,644.19
ene-38	264	\$	12,430.18	\$	51,639.34	\$	550,000.00	\$	45,453.38	\$	784,011.73	8.2219	\$28,211,351.41	\$	2,331,456.90	\$	40,214,600.68
feb-38	265	\$	12,249.21	\$	50,887.52	\$	550,000.00	\$	45,026.14	\$	776,642.33	8.2219	\$28,064,417.28	\$	2,297,513.27	\$	39,629,117.15
mar-38	266	\$	12,134.07	\$	50,409.20	\$	550,000.00	\$	44,602.91	\$	769,342.20	8.2219	\$28,064,417.28	\$	2,275,917.56	\$	39,256,619.22
abr-38	267	\$	12,020.02	\$	49,935.38	\$	550,000.00	\$	44,183.66	\$	762,110.69	8.2219	\$28,064,417.28	\$	2,254,524.84	\$	38,887,622.62
may-38	268	\$	11,907.03	\$	49,466.00	\$	550,000.00	\$	43,768.35	\$	754,947.15	8.2219	\$28,064,417.28	\$	2,233,333.20	\$	38,522,094.44
jun-38	269	\$	11,795.11	\$	49,001.04	\$	550,000.00	\$	43,356.95	\$	747,850.95	8.2219	\$28,064,417.28	\$	2,212,340.76	\$	38,160,002.08
jul-38	270	\$	11,684.24	\$	48,540.45	\$	550,000.00	\$	42,949.41	\$	740,821.45	8.2219	\$28,064,417.28	\$	2,191,545.64	\$	37,801,313.25
ago-38	271	\$	11,574.42	\$	48,084.19	\$	550,000.00	\$	42,545.70	\$	733,858.02	8.2219	\$28,064,417.28	\$	2,170,945.98	\$	37,445,995.95
sep-38	272	\$	11,465.62	\$	47,632.22	\$	550,000.00	\$	42,145.79	\$	726,960.05	8.2219	\$28,064,417.28	\$	2,150,539.95	\$	37,094,018.48
oct-38	273	\$	11,357.85	\$	47,184.49	\$	550,000.00	\$	41,749.63	\$	720,126.91	8.2219	\$28,064,417.28	\$	2,130,325.73	\$	36,745,349.47
nov-38	274	\$	11,251.09	\$	46,740.98	\$	550,000.00	\$	41,357.20	\$	713,358.01	8.2219	\$28,064,417.28	\$	2,110,301.52	\$	36,399,957.81
dic-38	275	\$	11,145.33	\$	46,301.63	\$	550,000.00	\$	40,968.46	\$	706,652.73	8.2219	\$28,064,417.28	\$	2,090,465.52	\$	36,057,812.69
ene-39	276	\$	11,040.57	\$	45,866.42	\$	550,000.00	\$	40,583.38	\$	700,010.47	8.3253	\$28,417,360.13	\$	2,096,858.91	\$	36,168,090.30
feb-39	277	\$	10,879.53	\$	45,197.41	\$	550,000.00	\$	40,201.91	\$	693,430.65	8.3253	\$28,268,578.14	\$	2,066,274.14	\$	35,640,542.84
mar-39	278	\$	10,777.27	\$	44,772.57	\$	550,000.00	\$	39,824.03	\$	686,912.68	8.3253	\$28,268,578.14	\$	2,046,851.99	\$	35,305,535.92
abr-39	279	\$	10,675.97	\$	44,351.73	\$	550,000.00	\$	39,449.70	\$	680,455.97	8.3253	\$28,268,578.14	\$	2,027,612.40	\$	34,973,677.93
may-39	280	\$	10,575.62	\$	43,934.84	\$	550,000.00	\$	39,078.88	\$	674,059.96	8.3253	\$28,268,578.14	\$	2,008,553.65	\$	34,644,939.28
jun-39	281	\$	10,476.21	\$	43,521.87	\$	550,000.00	\$	38,711.56	\$	667,724.06	8.3253	\$28,268,578.14	\$	1,989,674.04	\$	34,319,290.64
jul-39	282	\$	10,377.74	\$	43,112.78	\$	550,000.00	\$	38,347.69	\$	661,447.72	8.3253	\$28,268,578.14	\$	1,970,971.90	\$	33,996,702.96
ago-39	283	\$	10,280.19	\$	42,707.54	\$	550,000.00	\$	37,987.23	\$	655,230.38	8.3253	\$28,268,578.14	\$	1,952,445.55	\$	33,677,147.48
sep-39	284	\$	10,183.56	\$	42,306.10	\$	550,000.00	\$	37,630.17	\$	649,071.47	8.3253	\$28,268,578.14	\$	1,934,093.33	\$	33,360,595.70
oct-39	285	\$	10,087.84	\$	41,908.44	\$	550,000.00	\$	37,276.46	\$	642,970.46	8.3253	\$28,268,578.14	\$	1,915,913.63	\$	33,047,019.37
nov-39	286	\$	9,993.02	\$	41,514.52	\$	550,000.00	\$	36,926.08	\$	636,926.79	8.3253	\$28,268,578.14	\$	1,897,904.80	\$	32,736,390.54
dic-39	287	\$	9,899.09	\$	41,124.30	\$	550,000.00	\$	36,578.98	\$	630,939.93	8.3253	\$28,268,578.14	\$	1,880,065.25	\$	32,428,681.50
ene-40	288	\$	9,806.04	\$	40,737.75	\$	550,000.00	\$	36,235.16	\$	625,009.35	8.4288	\$28,620,012.66	\$	1,885,546.63	\$	32,523,228.18
feb-40	289	\$	9,662.74	\$	40,142.43	\$	550,000.00	\$	35,894.56	\$	619,134.51	8.4288	\$28,469,381.01	\$	1,857,992.59	\$	32,047,956.87



mar-40	290	\$	9,571.92	\$	39,765.11	\$	550,000.00	\$	35,557.17	\$	613,314.89	8.4288	\$28,469,381.01	\$	1,840,528.20	\$	31,746,718.83
abr-40	291	\$	9,481.95	\$	39,391.34	\$	550,000.00	\$	35,222.94	\$	607,549.98	8.4288	\$28,469,381.01	\$	1,823,227.97	\$	31,448,312.31
may-40	292	\$	9,392.82	\$	39,021.07	\$	550,000.00	\$	34,891.86	\$	601,839.25	8.4288	\$28,469,381.01	\$	1,806,090.35	\$	31,152,710.69
jun-40	293	\$	9,304.53	\$	38,654.29	\$	550,000.00	\$	34,563.89	\$	596,182.20	8.4288	\$28,469,381.01	\$	1,789,113.82	\$	30,859,887.60
jul-40	294	\$	9,217.07	\$	38,290.96	\$	550,000.00	\$	34,239.00	\$	590,578.32	8.4288	\$28,469,381.01	\$	1,772,296.87	\$	30,569,816.94
ago-40	295	\$	9,130.44	\$	37,931.04	\$	550,000.00	\$	33,917.17	\$	585,027.12	8.4288	\$28,469,381.01	\$	1,755,637.98	\$	30,282,472.82
sep-40	296	\$	9,044.61	\$	37,574.50	\$	550,000.00	\$	33,598.36	\$	579,528.10	8.4288	\$28,469,381.01	\$	1,739,135.68	\$	29,997,829.63
oct-40	297	\$	8,959.60	\$	37,221.31	\$	550,000.00	\$	33,282.55	\$	574,080.77	8.4288	\$28,469,381.01	\$	1,722,788.50	\$	29,715,861.97
nov-40	298	\$	8,875.38	\$	36,871.45	\$	550,000.00	\$	32,969.71	\$	568,684.64	8.4288	\$28,469,381.01	\$	1,706,594.97	\$	29,436,544.69
dic-40	299	\$	8,791.96	\$	36,524.87	\$	550,000.00	\$	32,659.81	\$	563,339.23	8.4288	\$28,469,381.01	\$	1,690,553.66	\$	29,159,852.89
ene-41	300	\$	8,709.31	\$	36,181.55	\$	550,000.00	\$	32,352.82	\$	558,044.06	8.5322	\$28,818,628.12	\$	1,695,207.00	\$	29,240,116.92
feb-41	301	\$	8,764.39	\$	36,410.37	\$	550,000.00	\$	32,048.71	\$	552,798.67	8.5322	\$29,276,066.66	\$	1,705,927.85	\$	29,425,037.67
mar-41	302	\$	8,682.01	\$	36,068.13	\$	550,000.00	\$	31,747.47	\$	547,602.58	8.5322	\$29,276,066.66	\$	1,689,892.80	\$	29,148,454.02
abr-41	303	\$	8,600.40	\$	35,729.10	\$	550,000.00	\$	31,449.06	\$	542,455.34	8.5322	\$29,276,066.66	\$	1,674,008.48	\$	28,874,470.15
may-41	304	\$	8,519.56	\$	35,393.26	\$	550,000.00	\$	31,153.45	\$	537,356.47	8.5322	\$29,276,066.66	\$	1,658,273.47	\$	28,603,061.62
jun-41	305	\$	8,439.48	\$	35,060.58	\$	550,000.00	\$	30,860.62	\$	532,305.53	8.5322	\$29,276,066.66	\$	1,642,686.36	\$	28,334,204.23
jul-41	306	\$	8,360.16	\$	34,731.03	\$	550,000.00	\$	30,570.54	\$	527,302.07	8.5322	\$29,276,066.66	\$	1,627,245.76	\$	28,067,873.98
ago-41	307	\$	8,281.57	\$	34,404.57	\$	550,000.00	\$	30,283.19	\$	522,345.65	8.5322	\$29,276,066.66	\$	1,611,950.30	\$	27,804,047.14
sep-41	308	\$	8,203.73	\$	34,081.18	\$	550,000.00	\$	29,998.54	\$	517,435.80	8.5322	\$29,276,066.66	\$	1,596,798.61	\$	27,542,700.16
oct-41	309	\$	8,126.62	\$	33,760.83	\$	550,000.00	\$	29,716.56	\$	512,572.11	8.5322	\$29,276,066.66	\$	1,581,789.34	\$	27,283,809.74
nov-41	310	\$	8,050.23	\$	33,443.49	\$	550,000.00	\$	29,437.24	\$	507,754.14	8.5322	\$29,276,066.66	\$	1,566,921.15	\$	27,027,352.78
dic-41	311	\$	7,974.56	\$	33,129.13	\$	550,000.00	\$	29,160.54	\$	502,981.45	8.5322	\$29,276,066.66	\$	1,552,192.71	\$	26,773,306.42
ene-42	312	\$	7,899.60	\$	32,817.73	\$	550,000.00	\$	28,886.45	\$	498,253.63	8.6356	\$29,630,857.37	\$	1,556,236.61	\$	26,843,058.46
feb-42	313	\$	7,784.59	\$	32,339.94	\$	550,000.00	\$	28,614.92	\$	493,570.24	8.6356	\$29,476,529.99	\$	1,533,579.40	\$	26,452,250.94
mar-42	314	\$	7,711.42	\$	32,035.96	\$	550,000.00	\$	28,345.96	\$	488,930.88	8.6356	\$29,476,529.99	\$	1,519,164.36	\$	26,203,610.30
abr-42	315	\$	7,638.94	\$	31,734.83	\$	550,000.00	\$	28,079.51	\$	484,335.12	8.6356	\$29,476,529.99	\$	1,504,884.82	\$	25,957,306.79
may-42	316	\$	7,567.14	\$	31,436.54	\$	550,000.00	\$	27,815.58	\$	479,782.56	8.6356	\$29,476,529.99	\$	1,490,739.50	\$	25,713,318.44
jun-42	317	\$	7,496.01	\$	31,141.05	\$	550,000.00	\$	27,554.12	\$	475,272.80	8.6356	\$29,476,529.99	\$	1,476,727.14	\$	25,471,623.48
jul-42	318	\$	7,425.55	\$	30,848.33	\$	550,000.00	\$	27,295.13	\$	470,805.42	8.6356	\$29,476,529.99	\$	1,462,846.50	\$	25,232,200.36
ago-42	319	\$	7,355.75	\$	30,558.37	\$	550,000.00	\$	27,038.56	\$	466,380.04	8.6356	\$29,476,529.99	\$	1,449,096.32	\$	24,995,027.71
sep-42	320	\$	7,286.61	\$	30,271.14	\$	550,000.00	\$	26,784.41	\$	461,996.25	8.6356	\$29,476,529.99	\$	1,435,475.39	\$	24,760,084.40
oct-42	321	\$	7,218.12	\$	29,986.60	\$	550,000.00	\$	26,532.65	\$	457,653.67	8.6356	\$29,476,529.99	\$	1,421,982.49	\$	24,527,349.46
nov-42	322	\$	7,150.27	\$	29,704.74	\$	550,000.00	\$	26,283.25	\$	453,351.91	8.6356	\$29,476,529.99	\$	1,408,616.43	\$	24,296,802.13
dic-42	323	\$	7,083.06	\$	29,425.52	\$	550,000.00	\$	26,036.20	\$	449,090.58	8.6356	\$29,476,529.99	\$	1,395,375.99	\$	24,068,421.86
ene-43	324	\$	7,016.48	\$	29,148.94	\$	550,000.00	\$	25,791.47	\$	444,869.31	8.7391	\$29,829,814.17	\$	1,398,826.77	\$	24,127,943.35

feb-43	325	\$	6,914.14	\$	28,723.77	\$	550,000.00	\$	25,549.04	\$	440,687.72	8.7391	\$29,673,637.13	\$	1,378,423.50	\$	23,776,013.37
mar-43	326	\$	6,849.15	\$	28,453.78	\$	550,000.00	\$	25,308.89	\$	436,545.43	8.7391	\$29,673,637.13	\$	1,365,466.86	\$	23,552,528.30
abr-43	327	\$	6,784.77	\$	28,186.32	\$	550,000.00	\$	25,071.00	\$	432,442.07	8.7391	\$29,673,637.13	\$	1,352,632.02	\$	23,331,143.91
may-43	328	\$	6,721.00	\$	27,921.38	\$	550,000.00	\$	24,835.34	\$	428,377.29	8.7391	\$29,673,637.13	\$	1,339,917.82	\$	23,111,840.44
jun-43	329	\$	6,657.82	\$	27,658.93	\$	550,000.00	\$	24,601.90	\$	424,350.71	8.7391	\$29,673,637.13	\$	1,327,323.12	\$	22,894,598.34
jul-43	330	\$	6,595.24	\$	27,398.95	\$	550,000.00	\$	24,370.65	\$	420,361.99	8.7391	\$29,673,637.13	\$	1,314,846.81	\$	22,679,398.22
ago-43	331	\$	6,533.25	\$	27,141.41	\$	550,000.00	\$	24,141.57	\$	416,410.75	8.7391	\$29,673,637.13	\$	1,302,487.78	\$	22,466,220.91
sep-43	332	\$	6,471.84	\$	26,886.29	\$	550,000.00	\$	23,914.65	\$	412,496.65	8.7391	\$29,673,637.13	\$	1,290,244.91	\$	22,255,047.37
oct-43	333	\$	6,411.01	\$	26,633.57	\$	550,000.00	\$	23,689.86	\$	408,619.35	8.7391	\$29,673,637.13	\$	1,278,117.12	\$	22,045,858.78
nov-43	334	\$	6,350.75	\$	26,383.23	\$	550,000.00	\$	23,467.19	\$	404,778.49	8.7391	\$29,673,637.13	\$	1,266,103.33	\$	21,838,636.48
dic-43	335	\$	6,291.05	\$	26,135.24	\$	550,000.00	\$	23,246.61	\$	400,973.73	8.7391	\$29,673,637.13	\$	1,254,202.46	\$	21,633,361.99
ene-44	336	\$	6,231.92	\$	25,889.57	\$	550,000.00	\$	23,028.10	\$	397,204.74	8.8425	\$30,024,732.10	\$	1,257,113.55	\$	21,683,574.43
feb-44	337	\$	6,140.85	\$	25,511.24	\$	550,000.00	\$	22,811.64	\$	393,471.17	8.8425	\$29,866,707.20	\$	1,238,742.98	\$	21,366,706.10
mar-44	338	\$	6,083.13	\$	25,271.45	\$	550,000.00	\$	22,597.22	\$	389,772.70	8.8425	\$29,866,707.20	\$	1,227,099.29	\$	21,165,867.57
abr-44	339	\$	6,025.95	\$	25,033.91	\$	550,000.00	\$	22,384.82	\$	386,108.99	8.8425	\$29,866,707.20	\$	1,215,565.05	\$	20,966,916.84
may-44	340	\$	5,969.31	\$	24,798.60	\$	550,000.00	\$	22,174.41	\$	382,479.72	8.8425	\$29,866,707.20	\$	1,204,139.22	\$	20,769,836.16
jun-44	341	\$	5,913.20	\$	24,565.50	\$	550,000.00	\$	21,965.98	\$	378,884.57	8.8425	\$29,866,707.20	\$	1,192,820.79	\$	20,574,607.97
jul-44	342	\$	5,857.62	\$	24,334.59	\$	550,000.00	\$	21,759.51	\$	375,323.20	8.8425	\$29,866,707.20	\$	1,181,608.75	\$	20,381,214.84
ago-44	343	\$	5,802.56	\$	24,105.86	\$	550,000.00	\$	21,554.98	\$	371,795.31	8.8425	\$29,866,707.20	\$	1,170,502.10	\$	20,189,639.53
sep-44	344	\$	5,748.01	\$	23,879.27	\$	550,000.00	\$	21,352.37	\$	368,300.58	8.8425	\$29,866,707.20	\$	1,159,499.84	\$	19,999,864.95
oct-44	345	\$	5,693.99	\$	23,654.82	\$	550,000.00	\$	21,151.66	\$	364,838.71	8.8425	\$29,866,707.20	\$	1,148,601.01	\$	19,811,874.18
nov-44	346	\$	5,640.46	\$	23,432.47	\$	550,000.00	\$	20,952.85	\$	361,409.37	8.8425	\$29,866,707.20	\$	1,137,804.61	\$	19,625,650.45
dic-44	347	\$	5,587.45	\$	23,212.22	\$	550,000.00	\$	20,755.90	\$	358,012.26	8.8425	\$29,866,707.20	\$	1,127,109.70	\$	19,441,177.14
ene-45	348	\$	5,534.93	\$	22,994.03	\$	550,000.00	\$	20,560.80	\$	354,647.09	8.9459	\$30,215,954.30	\$	1,129,571.32	\$	19,483,636.85
feb-45	349	\$	5,453.89	\$	22,657.38	\$	550,000.00	\$	20,367.54	\$	351,313.55	8.9459	\$30,056,081.53	\$	1,113,033.41	\$	19,198,379.38
mar-45	350	\$	5,402.63	\$	22,444.41	\$	550,000.00	\$	20,176.09	\$	348,011.34	8.9459	\$30,056,081.53	\$	1,102,571.34	\$	19,017,922.25
abr-45	351	\$	5,351.84	\$	22,233.44	\$	550,000.00	\$	19,986.44	\$	344,740.17	8.9459	\$30,056,081.53	\$	1,092,207.61	\$	18,839,161.35
may-45	352	\$	5,301.54	\$	22,024.45	\$	550,000.00	\$	19,798.58	\$	341,499.75	8.9459	\$30,056,081.53	\$	1,081,941.29	\$	18,662,080.73
jun-45	353	\$	5,251.71	\$	21,817.43	\$	550,000.00	\$	19,612.48	\$	338,289.79	8.9459	\$30,056,081.53	\$	1,071,771.47	\$	18,486,664.60
jul-45	354	\$	5,202.34	\$	21,612.36	\$	550,000.00	\$	19,428.13	\$	335,110.00	8.9459	\$30,056,081.53	\$	1,061,697.25	\$	18,312,897.31
ago-45	355	\$	5,153.44	\$	21,409.21	\$	550,000.00	\$	19,245.51	\$	331,960.10	8.9459	\$30,056,081.53	\$	1,051,717.72	\$	18,140,763.36
sep-45	356	\$	5,105.00	\$	21,207.97	\$	550,000.00	\$	19,064.61	\$	328,839.81	8.9459	\$30,056,081.53	\$	1,041,831.99	\$	17,970,247.40
oct-45	357	\$	5,057.02	\$	21,008.62	\$	550,000.00	\$	18,885.41	\$	325,748.84	8.9459	\$30,056,081.53	\$	1,032,039.18	\$	17,801,334.23
nov-45	358	\$	5,009.48	\$	20,811.15	\$	550,000.00	\$	18,707.90	\$	322,686.93	8.9459	\$30,056,081.53	\$	1,022,338.42	\$	17,634,008.77
dic-45	359	\$	4,962.40	\$	20,615.54	\$	550,000.00	\$	18,532.05	\$	319,653.81	8.9459	\$30,056,081.53	\$	1,012,728.85	\$	17,468,256.11

ene-46	360	\$	4,915.75	\$	20,421.76	\$	550,000.00	\$	18,357.86	\$	316,649.19	9.0493	\$30,403,480.76	\$	1,014,805.07	\$	17,504,068.15
feb-46	361	\$	4,843.64	\$	20,122.20	\$	550,000.00	\$	18,185.30	\$	313,672.81	9.0493	\$30,241,760.12	\$	999,919.14	\$	17,247,305.30
mar-46	362	\$	4,798.11	\$	19,933.06	\$	550,000.00	\$	18,014.37	\$	310,724.41	9.0493	\$30,241,760.12	\$	990,520.30	\$	17,085,187.49
abr-46	363	\$	4,753.01	\$	19,745.69	\$	550,000.00	\$	17,845.04	\$	307,803.73	9.0493	\$30,241,760.12	\$	981,209.80	\$	16,924,593.53
may-46	364	\$	4,708.34	\$	19,560.09	\$	550,000.00	\$	17,677.30	\$	304,910.49	9.0493	\$30,241,760.12	\$	971,986.82	\$	16,765,509.08
jun-46	365	\$	4,664.08	\$	19,376.23	\$	550,000.00	\$	17,511.14	\$	302,044.46	9.0493	\$30,241,760.12	\$	962,850.53	\$	16,607,919.97
jul-46	366	\$	4,620.24	\$	19,194.11	\$	550,000.00	\$	17,346.55	\$	299,205.36	9.0493	\$30,241,760.12	\$	953,800.12	\$	16,451,812.13
ago-46	367	\$	4,576.81	\$	19,013.69	\$	550,000.00	\$	17,183.49	\$	296,392.95	9.0493	\$30,241,760.12	\$	944,834.78	\$	16,297,171.64
sep-46	368	\$	4,533.79	\$	18,834.97	\$	550,000.00	\$	17,021.98	\$	293,606.97	9.0493	\$30,241,760.12	\$	935,953.71	\$	16,143,984.72
oct-46	369	\$	4,491.18	\$	18,657.93	\$	550,000.00	\$	16,861.98	\$	290,847.18	9.0493	\$30,241,760.12	\$	927,156.12	\$	15,992,237.68
nov-46	370	\$	4,448.96	\$	18,482.55	\$	550,000.00	\$	16,703.48	\$	288,113.33	9.0493	\$30,241,760.12	\$	918,441.22	\$	15,841,917.01
dic-46	371	\$	4,407.14	\$	18,308.82	\$	550,000.00	\$	16,546.48	\$	285,405.18	9.0493	\$30,241,760.12	\$	909,808.23	\$	15,693,009.30
ene-47	372	\$	4,365.72	\$	18,136.72	\$	550,000.00	\$	16,390.94	\$	282,722.49	9.1528	\$30,587,645.68	\$	911,564.38	\$	15,723,300.57
feb-47	373	\$	4,301.55	\$	17,870.17	\$	550,000.00	\$	16,236.88	\$	280,065.01	9.1528	\$30,424,075.38	\$	898,167.18	\$	15,492,216.32
mar-47	374	\$	4,261.12	\$	17,702.20	\$	550,000.00	\$	16,084.26	\$	277,432.51	9.1528	\$30,424,075.38	\$	889,724.77	\$	15,346,595.65
abr-47	375	\$	4,221.07	\$	17,535.80	\$	550,000.00	\$	15,933.07	\$	274,824.76	9.1528	\$30,424,075.38	\$	881,361.71	\$	15,202,343.76
may-47	376	\$	4,181.39	\$	17,370.97	\$	550,000.00	\$	15,783.31	\$	272,241.51	9.1528	\$30,424,075.38	\$	873,077.26	\$	15,059,447.78
jun-47	377	\$	4,142.09	\$	17,207.69	\$	550,000.00	\$	15,634.95	\$	269,682.55	9.1528	\$30,424,075.38	\$	864,870.68	\$	14,917,894.96
jul-47	378	\$	4,103.16	\$	17,045.95	\$	550,000.00	\$	15,487.99	\$	267,147.64	9.1528	\$30,424,075.38	\$	856,741.24	\$	14,777,672.69
ago-47	379	\$	4,064.59	\$	16,885.72	\$	550,000.00	\$	15,342.41	\$	264,636.56	9.1528	\$30,424,075.38	\$	848,688.22	\$	14,638,768.44
sep-47	380	\$	4,026.38	\$	16,727.00	\$	550,000.00	\$	15,198.19	\$	262,149.08	9.1528	\$30,424,075.38	\$	840,710.89	\$	14,501,169.85
oct-47	381	\$	3,988.54	\$	16,569.78	\$	550,000.00	\$	15,055.34	\$	259,684.98	9.1528	\$30,424,075.38	\$	832,808.54	\$	14,364,864.62
nov-47	382	\$	3,951.04	\$	16,414.03	\$	550,000.00	\$	14,913.82	\$	257,244.05	9.1528	\$30,424,075.38	\$	824,980.47	\$	14,229,840.61
dic-47	383	\$	3,913.91	\$	16,259.74	\$	550,000.00	\$	14,773.64	\$	254,826.06	9.1528	\$30,424,075.38	\$	817,225.98	\$	14,096,085.77
ene-48	384	\$	3,877.12	\$	16,106.91	\$	550,000.00	\$	14,634.77	\$	252,430.79	9.9675	\$33,132,153.15	\$	881,602.75	\$	15,206,501.30

### Costo Nivelado de Generación (CNG)

<b>CNG</b>	<b>\$</b>	<b>1.0279</b>	<b>\$/kWh</b>
------------	-----------	---------------	---------------

## **Anexo 3**

## Carga Dinámica Total (m)

	<b>Carga Dinámica Total (m)</b>										
	Horas de Operación en periodo (i)	Factor de Planta	21.90	22.00	22.10	22.20	22.30	22.40	23.00	23.50	24.00
<b>Energía Eléctrica (kW)</b>			4636.9296	4658.1028	4679.2760	4700.4492	4721.6224	4742.7956	4869.8347	4975.7007	5081.5667
<b>Energía Eléctrica (kW)</b>			0.0000	21.1732	42.3464	63.5196	84.6928	105.8660	232.9051	338.7711	444.6371
<b>Energía Consumida Adicional (kW)</b>			0.000	1161515.398	2283292.070	3424938.105	4566584.140	5708230.175	12558106.385	18266336.559	23974566.734
<b>Costo Por Energía Consumida Adicional (\$)</b>			\$ -	\$1,193,923	\$2,346,998	\$3,520,497	\$4,693,997	\$5,867,496	\$12,908,490	\$18,775,986	\$24,643,482

730.00	92.54%	0.00	11294.78	22589.56	33884.34	45179.12	56473.89	124242.57	180716.46	237190.35
730.00	92.54%	0.00	11188.61	22377.22	33565.84	44754.45	55943.06	123074.74	179017.80	234960.86
730.00	92.54%	0.00	11083.44	22166.89	33250.33	44333.78	55417.22	121917.88	177335.10	232752.32
730.00	92.54%	0.00	10979.26	21958.53	32937.79	43917.06	54896.32	120771.90	175668.22	230564.54
730.00	92.54%	0.00	10876.06	21752.13	32628.19	43504.25	54380.32	119636.70	174017.01	228397.33
730.00	92.54%	0.00	10773.83	21547.67	32321.50	43095.33	53869.16	118512.16	172381.32	226250.48
730.00	92.54%	0.00	10672.56	21345.13	32017.69	42690.25	53362.81	117398.19	170761.00	224123.82
730.00	92.54%	0.00	10572.24	21144.49	31716.73	42288.98	52861.22	116294.69	169155.92	222017.14
730.00	92.54%	0.00	10472.87	20945.74	31418.61	41891.48	52364.35	115201.57	167565.92	219930.27
730.00	92.54%	0.00	10374.43	20748.86	31123.29	41497.72	51872.15	114118.72	165990.87	217863.01
730.00	92.54%	0.00	10276.91	20553.83	30830.74	41107.65	51384.57	113046.05	164430.62	215815.19
730.00	92.54%	0.00	10180.31	20360.63	30540.94	40721.26	50901.57	111983.46	162885.04	213786.61
730.00	92.07%	0.00	10084.62	20067.89	30101.84	40135.79	50169.74	110373.42	160543.16	210712.90
730.00	92.07%	0.00	9989.83	19879.26	29818.90	39758.53	49698.16	109335.96	159034.12	208732.28
730.00	92.07%	0.00	9895.93	19692.41	29538.61	39384.81	49231.02	108308.24	157539.26	206770.28
730.00	92.07%	0.00	9802.91	19507.31	29260.96	39014.61	48768.27	107290.19	156058.45	204826.72
730.00	92.07%	0.00	9710.77	19323.95	28985.92	38647.89	48309.86	106281.70	154591.57	202901.43
730.00	92.07%	0.00	9619.49	19142.31	28713.46	38284.62	47855.77	105282.70	153138.47	200994.24
730.00	92.07%	0.00	9529.07	18962.38	28443.57	37924.76	47405.95	104293.08	151699.03	199104.97
730.00	92.07%	0.00	9439.50	18784.14	28176.21	37568.28	46960.35	103312.77	150273.12	197233.46
730.00	92.07%	0.00	9350.78	18607.58	27911.36	37215.15	46518.94	102341.67	148860.61	195379.55
730.00	92.07%	0.00	9262.88	18432.67	27649.01	36865.34	46081.68	101379.70	147461.38	193543.06
730.00	92.07%	0.00	9175.82	18259.41	27389.12	36518.82	45648.53	100426.77	146075.30	191723.83
730.00	92.07%	0.00	9089.57	18087.78	27131.67	36175.56	45219.45	99482.80	144702.25	189921.70
730.00	91.61%	0.00	9004.13	17827.27	26740.90	35654.54	44568.17	98049.98	142618.16	187186.33
730.00	91.61%	0.00	8919.49	17659.70	26489.55	35319.40	44149.25	97128.35	141277.60	185426.85
730.00	91.61%	0.00	8835.65	17493.71	26240.56	34987.41	43734.27	96215.38	139949.65	183683.91
730.00	91.61%	0.00	8752.60	17329.27	25993.91	34658.54	43323.18	95311.00	138634.18	181957.36
730.00	91.61%	0.00	8670.33	17166.38	25749.58	34332.77	42915.96	94415.11	137331.07	180247.03
730.00	91.61%	0.00	8588.83	17005.03	25507.54	34010.05	42512.57	93527.65	136040.21	178552.78
730.00	91.61%	0.00	8508.10	16845.19	25267.78	33690.37	42112.97	92648.52	134761.49	176874.46

730.00	91.61%	0.00	8428.13	16686.85	25030.27	33373.70	41717.12	91777.67	133494.79	175211.91
730.00	91.61%	0.00	8348.91	16530.00	24795.00	33060.00	41325.00	90914.99	132239.99	173564.98
730.00	91.61%	0.00	8270.43	16374.62	24561.93	32749.25	40936.56	90060.43	130996.98	171933.54
730.00	91.61%	0.00	8192.69	16220.71	24331.06	32441.42	40551.77	89213.89	129765.67	170317.44
730.00	91.61%	0.00	8115.68	16068.24	24102.36	32136.48	40170.60	88375.32	128545.92	168716.52
730.00	91.14%	0.00	8039.40	15836.41	23754.61	31672.81	39591.02	87100.24	126691.26	166282.27
730.00	91.14%	0.00	7963.83	15687.55	23531.33	31375.10	39218.88	86281.53	125500.41	164719.29
730.00	91.14%	0.00	7888.98	15540.09	23310.14	31080.19	38850.24	85470.52	124320.75	163170.99
730.00	91.14%	0.00	7814.82	15394.02	23091.04	30788.05	38485.06	84667.13	123152.19	161637.25
730.00	91.14%	0.00	7741.37	15249.33	22873.99	30498.65	38123.31	83871.29	121994.61	160117.92
730.00	91.14%	0.00	7668.60	15105.99	22658.98	30211.98	37764.97	83082.94	120847.91	158612.88
730.00	91.14%	0.00	7596.52	14964.00	22446.00	29928.00	37409.99	82301.99	119711.98	157121.98
730.00	91.14%	0.00	7525.12	14823.34	22235.01	29646.68	37058.36	81528.38	118586.74	155645.09
730.00	91.14%	0.00	7454.38	14684.01	22026.01	29368.02	36710.02	80762.05	117472.07	154182.09
730.00	91.14%	0.00	7384.31	14545.98	21818.98	29091.97	36364.96	80002.92	116367.88	152732.84
730.00	91.14%	0.00	7314.90	14409.26	21613.89	28818.52	36023.15	79250.92	115274.07	151297.21
730.00	91.14%	0.00	7246.15	14273.82	21410.73	28547.63	35684.54	78505.99	114190.54	149875.08
730.00	90.68%	0.00	7178.04	14067.51	21101.26	28135.02	35168.77	77371.29	112540.06	147708.83
730.00	90.68%	0.00	7110.57	13935.28	20902.92	27870.56	34838.20	76644.03	111482.23	146320.43
730.00	90.68%	0.00	7043.73	13804.29	20706.44	27608.59	34510.73	75923.61	110434.34	144945.08
730.00	90.68%	0.00	6977.52	13674.54	20511.81	27349.08	34186.35	75209.96	109396.30	143582.65
730.00	90.68%	0.00	6911.93	13546.00	20319.00	27092.01	33865.01	74503.02	108368.02	142233.03
730.00	90.68%	0.00	6846.97	13418.68	20128.01	26837.35	33546.69	73802.72	107349.41	140896.10
730.00	90.68%	0.00	6782.61	13292.55	19938.82	26585.09	33231.36	73109.00	106340.36	139571.73
730.00	90.68%	0.00	6718.85	13167.60	19751.40	26335.20	32919.00	72421.81	105340.81	138259.81
730.00	90.68%	0.00	6655.70	13043.83	19565.75	26087.66	32609.58	71741.07	104350.65	136960.22
730.00	90.68%	0.00	6593.14	12921.22	19381.84	25842.45	32303.06	71066.73	103369.79	135672.85
730.00	90.68%	0.00	6531.16	12799.77	19199.65	25599.54	31999.42	70398.73	102398.16	134397.58
730.00	90.68%	0.00	6469.77	12679.46	19019.19	25358.91	31698.64	69737.01	101435.65	133134.30
730.00	92.07%	0.00	6408.96	12753.51	19130.26	25507.02	31883.77	70144.30	102028.08	133911.85
730.00	92.07%	0.00	6348.72	12633.63	18950.45	25267.26	31584.08	69484.98	101069.06	132653.14
730.00	92.07%	0.00	6289.04	12514.88	18772.32	25029.76	31287.20	68831.85	100119.05	131406.25
730.00	92.07%	0.00	6229.93	12397.25	18595.87	24794.49	30993.12	68184.85	99177.97	130171.08
730.00	92.07%	0.00	6171.37	12280.72	18421.08	24561.43	30701.79	67543.94	98245.73	128947.53
730.00	92.07%	0.00	6113.36	12165.28	18247.92	24330.57	30413.21	66909.06	97322.26	127735.47

730.00	92.07%	0.00	6055.90	12050.93	18076.40	24101.87	30127.34	66280.14	96407.47	126534.81
730.00	92.07%	0.00	5998.98	11937.66	17906.49	23875.32	29844.15	65657.13	95501.28	125345.43
730.00	92.07%	0.00	5942.59	11825.45	17738.18	23650.90	29563.63	65039.98	94603.61	124167.23
730.00	92.07%	0.00	5886.73	11714.30	17571.44	23428.59	29285.74	64428.63	93714.37	123000.11
730.00	92.07%	0.00	5831.40	11604.19	17406.28	23208.37	29010.47	63823.03	92833.49	121843.96
730.00	92.07%	0.00	5776.58	11495.11	17242.67	22990.22	28737.78	63223.12	91960.90	120698.68
730.00	91.61%	0.00	5722.29	11329.55	16994.33	22659.10	28323.88	62312.54	90636.42	118960.30
730.00	91.61%	0.00	5668.50	11223.06	16834.59	22446.12	28057.65	61726.82	89784.47	117842.12
730.00	91.61%	0.00	5615.22	11117.57	16676.35	22235.13	27793.92	61146.62	88940.53	116734.45
730.00	91.61%	0.00	5562.44	11013.07	16519.60	22026.13	27532.66	60571.86	88104.53	115637.19
730.00	91.61%	0.00	5510.15	10909.55	16364.32	21819.09	27273.87	60002.51	87276.38	114550.25
730.00	91.61%	0.00	5458.36	10807.00	16210.50	21614.00	27017.50	59438.51	86456.02	113473.52
730.00	91.61%	0.00	5407.05	10705.42	16058.13	21410.84	26763.55	58879.81	85643.36	112406.91
730.00	91.61%	0.00	5356.23	10604.79	15907.19	21209.59	26511.98	58326.37	84838.35	111350.33
730.00	91.61%	0.00	5305.88	10505.11	15757.67	21010.23	26262.78	57778.12	84040.90	110303.69
730.00	91.61%	0.00	5256.01	10406.37	15609.55	20812.74	26015.92	57235.03	83250.95	109266.87
730.00	91.61%	0.00	5206.60	10308.55	15462.83	20617.11	25771.38	56697.04	82468.43	108239.81
730.00	91.61%	0.00	5157.66	10211.66	15317.49	20423.31	25529.14	56164.11	81693.26	107222.40
730.00	91.14%	0.00	5109.18	10064.32	15096.48	20128.65	25160.81	55353.78	80514.58	105675.39
730.00	91.14%	0.00	5061.16	9969.72	14954.58	19939.44	24924.31	54833.47	79757.78	104682.08
730.00	91.14%	0.00	5013.59	9876.01	14814.02	19752.02	24690.03	54318.06	79008.09	103698.11
730.00	91.14%	0.00	4966.46	9783.18	14674.77	19566.36	24457.95	53807.49	78265.44	102723.39
730.00	91.14%	0.00	4919.78	9691.22	14536.83	19382.44	24228.06	53301.72	77529.78	101757.83
730.00	91.14%	0.00	4873.53	9600.13	14400.19	19200.26	24000.32	52800.71	76801.03	100801.35
730.00	91.14%	0.00	4827.73	9509.89	14264.84	19019.78	23774.73	52304.40	76079.13	99853.86
730.00	91.14%	0.00	4782.35	9420.50	14130.75	18841.00	23551.26	51812.76	75364.02	98915.27
730.00	91.14%	0.00	4737.39	9331.95	13997.93	18663.91	23329.88	51325.74	74655.62	97985.51
730.00	91.14%	0.00	4692.86	9244.24	13866.35	18488.47	23110.59	50843.30	73953.89	97064.48
730.00	91.14%	0.00	4648.75	9157.34	13736.02	18314.69	22893.36	50365.39	73258.75	96152.12
730.00	91.14%	0.00	4605.06	9071.27	13606.90	18142.54	22678.17	49891.98	72570.15	95248.32
730.00	90.68%	0.00	4561.77	8940.16	13410.23	17880.31	22350.39	49170.86	71521.25	93871.63
730.00	90.68%	0.00	4518.89	8856.12	13284.18	17712.24	22140.30	48708.67	70848.97	92989.28
730.00	90.68%	0.00	4476.42	8772.88	13159.32	17545.76	21932.19	48250.83	70183.02	92115.22
730.00	90.68%	0.00	4434.34	8690.42	13035.62	17380.83	21726.04	47797.29	69523.33	91249.37
730.00	90.68%	0.00	4392.66	8608.73	12913.09	17217.46	21521.82	47348.01	68869.84	90391.66



730.00	90.68%	0.00	4351.37	8527.81	12791.72	17055.62	21319.53	46902.96	68222.49	89542.02
730.00	90.68%	0.00	4310.47	8447.65	12671.48	16895.31	21119.13	46462.09	67581.22	88700.36
730.00	90.68%	0.00	4269.95	8368.25	12552.37	16736.50	20920.62	46025.37	66945.99	87866.61
730.00	90.68%	0.00	4229.82	8289.59	12434.39	16579.18	20723.98	45592.75	66316.72	87040.70
730.00	90.68%	0.00	4190.06	8211.67	12317.51	16423.34	20529.18	45164.19	65693.37	86222.55
730.00	90.68%	0.00	4150.67	8134.48	12201.73	16268.97	20336.21	44739.67	65075.88	85412.09
730.00	90.68%	0.00	4111.66	8058.02	12087.04	16116.05	20145.06	44319.13	64464.19	84609.25
730.00	90.21%	0.00	4073.01	7941.35	11912.02	15882.69	19853.37	43677.41	63530.78	83384.14
730.00	90.21%	0.00	4034.73	7866.70	11800.05	15733.40	19666.75	43266.86	62933.61	82600.37
730.00	90.21%	0.00	3996.80	7792.76	11689.14	15585.52	19481.89	42860.17	62342.06	81823.96
730.00	90.21%	0.00	3959.23	7719.51	11579.26	15439.02	19298.77	42457.30	61756.07	81054.84
730.00	90.21%	0.00	3922.02	7646.95	11470.42	15293.90	19117.37	42058.22	61175.59	80292.96
730.00	90.21%	0.00	3885.15	7575.07	11362.61	15150.14	18937.68	41662.89	60600.56	79538.24
730.00	90.21%	0.00	3848.63	7503.87	11255.80	15007.74	18759.67	41271.27	60030.94	78790.61
730.00	90.21%	0.00	3812.46	7433.33	11150.00	14866.67	18583.34	40883.34	59466.67	78050.01
730.00	90.21%	0.00	3776.62	7363.46	11045.20	14726.93	18408.66	40499.05	58907.71	77316.37
730.00	90.21%	0.00	3741.12	7294.25	10941.38	14588.50	18235.63	40118.38	58354.00	76589.63
730.00	90.21%	0.00	3705.96	7225.69	10838.53	14451.37	18064.22	39741.28	57805.50	75869.72
730.00	90.21%	0.00	3671.12	7157.77	10736.65	14315.54	17894.42	39367.73	57262.15	75156.57
730.00	89.75%	0.00	3636.62	7053.94	10580.91	14107.88	17634.85	38796.67	56431.52	74066.36
730.00	89.75%	0.00	3602.43	6987.64	10481.45	13975.27	17469.09	38431.99	55901.08	73370.17
730.00	89.75%	0.00	3568.57	6921.95	10382.93	13843.91	17304.89	38070.75	55375.63	72680.52
730.00	89.75%	0.00	3535.03	6856.89	10285.34	13713.78	17142.23	37712.90	54855.13	71997.35
730.00	89.75%	0.00	3501.80	6792.44	10188.66	13584.88	16981.10	37358.41	54339.51	71320.61
730.00	89.75%	0.00	3468.89	6728.59	10092.89	13457.18	16821.48	37007.26	53828.74	70650.22
730.00	89.75%	0.00	3436.28	6665.35	9998.02	13330.69	16663.37	36659.40	53322.77	69986.14
730.00	89.75%	0.00	3403.98	6602.69	9904.04	13205.39	16506.74	36314.82	52821.56	69328.29
730.00	89.75%	0.00	3371.98	6540.63	9810.95	13081.26	16351.58	35973.48	52325.06	68676.64
730.00	89.75%	0.00	3340.29	6479.15	9718.73	12958.31	16197.88	35635.34	51833.22	68031.10
730.00	89.75%	0.00	3308.89	6418.25	9627.38	12836.50	16045.63	35300.38	51346.01	67391.64
730.00	89.75%	0.00	3277.79	6357.92	9536.88	12715.84	15894.81	34968.57	50863.38	66758.18
730.00	91.14%	0.00	3246.98	6396.06	9594.09	12792.12	15990.15	35178.33	51168.47	67158.62
730.00	91.14%	0.00	3216.46	6335.94	9503.91	12671.88	15839.85	34847.66	50687.51	66527.36
730.00	91.14%	0.00	3186.23	6276.38	9414.58	12552.77	15690.96	34520.11	50211.07	65902.03
730.00	91.14%	0.00	3156.28	6217.39	9326.08	12434.78	15543.47	34195.63	49739.10	65282.57

730.00	91.14%	0.00	3126.61	6158.95	9238.42	12317.89	15397.37	33874.21	49271.58	64668.94
730.00	91.14%	0.00	3097.22	6101.06	9151.58	12202.11	15252.64	33555.80	48808.44	64061.08
730.00	91.14%	0.00	3068.11	6043.71	9065.56	12087.42	15109.27	33240.39	48349.66	63458.93
730.00	91.14%	0.00	3039.27	5986.90	8980.35	11973.80	14967.25	32927.95	47895.19	62862.44
730.00	91.14%	0.00	3010.70	5930.62	8895.94	11861.25	14826.56	32618.44	47445.00	62271.56
730.00	91.14%	0.00	2982.40	5874.88	8812.32	11749.76	14687.20	32311.84	46999.03	61686.23
730.00	91.14%	0.00	2954.37	5819.66	8729.49	11639.32	14549.14	32008.12	46557.26	61106.41
730.00	91.14%	0.00	2926.60	5764.96	8647.43	11529.91	14412.39	31707.25	46119.64	60532.03
730.00	90.68%	0.00	2899.09	5681.63	8522.45	11363.26	14204.08	31248.97	45453.04	59657.12
730.00	90.68%	0.00	2871.84	5628.23	8442.34	11256.45	14070.56	30955.24	45025.80	59096.37
730.00	90.68%	0.00	2844.84	5575.32	8362.98	11150.64	13938.31	30664.27	44602.58	58540.88
730.00	90.68%	0.00	2818.10	5522.92	8284.37	11045.83	13807.29	30376.04	44183.33	57990.62
730.00	90.68%	0.00	2791.61	5471.00	8206.51	10942.01	13677.51	30090.52	43768.03	57445.54
730.00	90.68%	0.00	2765.37	5419.58	8129.37	10839.16	13548.95	29807.68	43356.62	56905.57
730.00	90.68%	0.00	2739.38	5368.64	8052.95	10737.27	13421.59	29527.50	42949.09	56370.68
730.00	90.68%	0.00	2713.63	5318.17	7977.26	10636.35	13295.43	29249.95	42545.39	55840.82
730.00	90.68%	0.00	2688.12	5268.18	7902.28	10536.37	13170.46	28975.01	42145.48	55315.94
730.00	90.68%	0.00	2662.86	5218.67	7828.00	10437.33	13046.66	28702.66	41749.32	54795.99
730.00	90.68%	0.00	2637.83	5169.61	7754.42	10339.22	12924.03	28432.87	41356.90	54280.93
730.00	90.68%	0.00	2613.03	5121.02	7681.53	10242.04	12802.55	28165.61	40968.16	53770.71
730.00	90.21%	0.00	2588.47	5046.87	7570.30	10093.74	12617.17	27757.78	40374.96	52992.13
730.00	90.21%	0.00	2564.14	4999.43	7499.15	9998.86	12498.58	27496.87	39995.45	52494.03
730.00	90.21%	0.00	2540.04	4952.44	7428.66	9904.88	12381.10	27238.41	39619.51	52000.60
730.00	90.21%	0.00	2516.16	4905.89	7358.83	9811.77	12264.72	26982.38	39247.10	51511.82
730.00	90.21%	0.00	2492.51	4859.77	7289.66	9719.55	12149.44	26728.76	38878.19	51027.63
730.00	90.21%	0.00	2469.08	4814.09	7221.14	9628.19	12035.24	26477.52	38512.75	50547.99
730.00	90.21%	0.00	2445.88	4768.84	7153.27	9537.69	11922.11	26228.64	38150.75	50072.86
730.00	90.21%	0.00	2422.89	4724.02	7086.03	9448.04	11810.05	25982.10	37792.15	49602.19
730.00	90.21%	0.00	2400.11	4679.61	7019.42	9359.23	11699.04	25737.88	37436.92	49135.95
730.00	90.21%	0.00	2377.55	4635.63	6953.44	9271.26	11589.07	25495.95	37085.02	48674.09
730.00	90.21%	0.00	2355.20	4592.05	6888.08	9184.11	11480.14	25256.30	36736.44	48216.58
730.00	90.21%	0.00	2333.07	4548.89	6823.34	9097.78	11372.23	25018.90	36391.13	47763.36
730.00	89.75%	0.00	2311.14	4482.91	6724.36	8965.81	11207.27	24655.98	35863.25	47070.51
730.00	89.75%	0.00	2289.41	4440.77	6661.15	8881.54	11101.92	24424.23	35526.15	46628.07
730.00	89.75%	0.00	2267.89	4399.03	6598.54	8798.05	10997.57	24194.65	35192.22	46189.78

730.00	89.75%	0.00	2246.57	4357.68	6536.52	8715.36	10894.19	23967.23	34861.42	45755.62
730.00	89.75%	0.00	2225.46	4316.72	6475.08	8633.44	10791.79	23741.95	34533.74	45325.53
730.00	89.75%	0.00	2204.54	4276.14	6414.21	8552.28	10690.36	23518.78	34209.14	44899.49
730.00	89.75%	0.00	2183.82	4235.95	6353.92	8471.90	10589.87	23297.71	33887.58	44477.45
730.00	89.75%	0.00	2163.29	4196.13	6294.20	8392.26	10490.33	23078.73	33569.05	44059.38
730.00	89.75%	0.00	2142.96	4156.69	6235.03	8313.38	10391.72	22861.79	33253.52	43645.24
730.00	89.75%	0.00	2122.81	4117.62	6176.43	8235.24	10294.05	22646.90	32940.95	43235.00
730.00	89.75%	0.00	2102.86	4078.91	6118.37	8157.83	10197.29	22434.03	32631.32	42828.60
730.00	89.75%	0.00	2083.09	4040.57	6060.86	8081.15	10101.44	22223.16	32324.60	42426.03
730.00	89.28%	0.00	2063.51	3981.86	5972.78	7963.71	9954.64	21900.21	31854.85	41809.49
730.00	89.28%	0.00	2044.12	3944.43	5916.64	7888.86	9861.07	21694.35	31555.42	41416.49
730.00	89.28%	0.00	2024.90	3907.35	5861.03	7814.70	9768.38	21490.44	31258.82	41027.20
730.00	89.28%	0.00	2005.87	3870.62	5805.94	7741.25	9676.56	21288.43	30965.00	40641.56
730.00	89.28%	0.00	1987.02	3834.24	5751.36	7668.48	9585.61	21088.33	30673.94	40259.54
730.00	89.28%	0.00	1968.34	3798.20	5697.30	7596.40	9495.50	20890.11	30385.61	39881.12
730.00	89.28%	0.00	1949.84	3762.50	5643.75	7525.00	9406.25	20693.75	30100.00	39506.25
730.00	89.28%	0.00	1931.51	3727.13	5590.70	7454.27	9317.84	20499.24	29817.07	39134.91
730.00	89.28%	0.00	1913.35	3692.10	5538.15	7384.20	9230.25	20306.55	29536.80	38767.06
730.00	89.28%	0.00	1895.37	3657.40	5486.09	7314.79	9143.49	20115.68	29259.17	38402.66
730.00	89.28%	0.00	1877.55	3623.02	5434.53	7246.04	9057.55	19926.60	28984.15	38041.69
730.00	89.28%	0.00	1859.91	3588.96	5383.44	7177.93	8972.41	19739.30	28711.71	37684.11
730.00	88.82%	0.00	1842.42	3536.71	5305.07	7073.42	8841.78	19451.91	28293.69	37135.47
730.00	88.82%	0.00	1825.11	3503.47	5255.20	7006.94	8758.67	19269.07	28027.74	36786.41
730.00	88.82%	0.00	1807.95	3470.54	5205.81	6941.07	8676.34	19087.95	27764.29	36440.64
730.00	88.82%	0.00	1790.96	3437.92	5156.87	6875.83	8594.79	18908.53	27503.32	36098.11
730.00	88.82%	0.00	1774.12	3405.60	5108.40	6811.20	8514.00	18730.80	27244.80	35758.80
730.00	88.82%	0.00	1757.45	3373.59	5060.38	6747.18	8433.97	18554.74	26988.71	35422.68
730.00	88.82%	0.00	1740.93	3341.88	5012.82	6683.76	8354.70	18380.33	26735.03	35089.72
730.00	88.82%	0.00	1724.56	3310.47	4965.70	6620.93	8276.17	18207.56	26483.73	34759.89
730.00	88.82%	0.00	1708.35	3279.35	4919.02	6558.70	8198.37	18036.42	26234.79	34433.16
730.00	88.82%	0.00	1692.29	3248.52	4872.79	6497.05	8121.31	17866.88	25988.20	34109.51
730.00	88.82%	0.00	1676.39	3217.99	4826.98	6435.98	8044.97	17698.94	25743.92	33788.89
730.00	88.82%	0.00	1660.63	3187.74	4781.61	6375.48	7969.35	17532.58	25501.93	33471.29
730.00	90.21%	0.00	1645.02	3207.38	4811.07	6414.75	8018.44	17640.57	25659.01	33677.46
730.00	90.21%	0.00	1629.56	3177.23	4765.84	6354.46	7943.07	17474.76	25417.83	33360.90

730.00	90.21%	0.00	1614.24	3147.36	4721.05	6294.73	7868.41	17310.50	25178.91	33047.32
730.00	90.21%	0.00	1599.07	3117.78	4676.67	6235.56	7794.45	17147.79	24942.24	32736.69
730.00	90.21%	0.00	1584.04	3088.47	4632.71	6176.95	7721.19	16986.61	24707.79	32428.98
730.00	90.21%	0.00	1569.15	3059.44	4589.17	6118.89	7648.61	16826.94	24475.55	32124.16
730.00	90.21%	0.00	1554.40	3030.69	4546.03	6061.37	7576.72	16668.77	24245.49	31822.21
730.00	90.21%	0.00	1539.79	3002.20	4503.30	6004.40	7505.50	16512.09	24017.59	31523.09
730.00	90.21%	0.00	1525.31	2973.98	4460.97	5947.96	7434.95	16356.89	23791.84	31226.79
730.00	90.21%	0.00	1510.98	2946.03	4419.04	5892.05	7365.06	16203.14	23568.20	30933.27
730.00	90.21%	0.00	1496.77	2918.33	4377.50	5836.67	7295.83	16050.84	23346.67	30642.51
730.00	90.21%	0.00	1482.71	2890.90	4336.35	5781.81	7227.26	15899.96	23127.22	30354.48
730.00	89.75%	0.00	1468.77	2848.97	4273.45	5697.94	7122.42	15669.32	22791.74	29914.16
730.00	89.75%	0.00	1454.96	2822.19	4233.28	5644.38	7055.47	15522.04	22577.51	29632.98
730.00	89.75%	0.00	1441.29	2795.66	4193.49	5591.32	6989.15	15376.14	22365.29	29354.44
730.00	89.75%	0.00	1427.74	2769.38	4154.07	5538.77	6923.46	15231.61	22155.07	29078.52
730.00	89.75%	0.00	1414.32	2743.35	4115.03	5486.70	6858.38	15088.44	21946.82	28805.20
730.00	89.75%	0.00	1401.02	2717.57	4076.35	5435.13	6793.91	14946.61	21740.52	28534.44
730.00	89.75%	0.00	1387.86	2692.02	4038.03	5384.04	6730.05	14806.12	21536.17	28266.23
730.00	89.75%	0.00	1374.81	2666.72	4000.08	5333.44	6666.79	14666.95	21333.74	28000.54
730.00	89.75%	0.00	1361.89	2641.65	3962.48	5283.30	6604.13	14529.08	21133.21	27737.34
730.00	89.75%	0.00	1349.09	2616.82	3925.23	5233.64	6542.05	14392.52	20934.57	27476.62
730.00	89.75%	0.00	1336.41	2592.22	3888.34	5184.45	6480.56	14257.23	20737.79	27218.35
730.00	89.75%	0.00	1323.84	2567.86	3851.79	5135.72	6419.65	14123.22	20542.87	26962.51
730.00	89.28%	0.00	1311.40	2530.54	3795.81	5061.08	6326.35	13917.98	20244.33	26570.68
730.00	89.28%	0.00	1299.07	2506.76	3760.13	5013.51	6266.89	13787.15	20054.04	26320.93
730.00	89.28%	0.00	1286.86	2483.19	3724.79	4966.39	6207.98	13657.56	19865.54	26073.52
730.00	89.28%	0.00	1274.77	2459.85	3689.78	4919.70	6149.63	13529.18	19678.81	25828.44
730.00	89.28%	0.00	1262.78	2436.73	3655.10	4873.46	6091.83	13402.02	19493.84	25585.67
730.00	89.28%	0.00	1250.91	2413.83	3620.74	4827.65	6034.56	13276.04	19310.61	25345.17
730.00	89.28%	0.00	1239.16	2391.14	3586.71	4782.27	5977.84	13151.25	19129.09	25106.94
730.00	89.28%	0.00	1227.51	2368.66	3552.99	4737.32	5921.65	13027.64	18949.29	24870.94
730.00	89.28%	0.00	1215.97	2346.40	3519.59	4692.79	5865.99	12905.18	18771.17	24637.16
730.00	89.28%	0.00	1204.54	2324.34	3486.51	4648.68	5810.85	12783.88	18594.73	24405.59
730.00	89.28%	0.00	1193.22	2302.49	3453.74	4604.99	5756.23	12663.71	18419.95	24176.18
730.00	89.28%	0.00	1182.00	2280.85	3421.28	4561.70	5702.13	12544.68	18246.81	23948.94
730.00	88.82%	0.00	1170.89	2247.64	3371.47	4495.29	5619.11	12362.04	17981.15	23600.26

730.00	88.82%	0.00	1159.89	2226.52	3339.78	4453.03	5566.29	12245.84	17812.14	23378.43
730.00	88.82%	0.00	1148.98	2205.59	3308.38	4411.18	5513.97	12130.74	17644.71	23158.68
730.00	88.82%	0.00	1138.18	2184.86	3277.29	4369.71	5462.14	12016.71	17478.86	22941.00
730.00	88.82%	0.00	1127.49	2164.32	3246.48	4328.64	5410.80	11903.76	17314.56	22725.36
730.00	88.82%	0.00	1116.89	2143.98	3215.96	4287.95	5359.94	11791.87	17151.81	22511.75
730.00	88.82%	0.00	1106.39	2123.82	3185.74	4247.65	5309.56	11681.03	16990.59	22300.15
730.00	88.82%	0.00	1095.99	2103.86	3155.79	4207.72	5259.65	11571.24	16830.89	22090.54
730.00	88.82%	0.00	1085.69	2084.09	3126.13	4168.17	5210.21	11462.47	16672.68	21882.90
730.00	88.82%	0.00	1075.48	2064.50	3096.74	4128.99	5161.24	11354.73	16515.97	21677.21
730.00	88.82%	0.00	1065.37	2045.09	3067.64	4090.18	5112.73	11248.00	16360.72	21473.45
730.00	88.82%	0.00	1055.36	2025.87	3038.80	4051.74	5064.67	11142.27	16206.94	21271.61
730.00	88.35%	0.00	1045.44	1996.32	2994.48	3992.64	4990.80	10979.75	15970.55	20961.34
730.00	88.35%	0.00	1035.61	1977.55	2966.33	3955.11	4943.88	10876.55	15820.43	20764.31
730.00	88.35%	0.00	1025.88	1958.97	2938.45	3917.93	4897.41	10774.31	15671.72	20569.14
730.00	88.35%	0.00	1016.24	1940.55	2910.83	3881.10	4851.38	10673.04	15524.42	20375.80
730.00	88.35%	0.00	1006.68	1922.31	2883.47	3844.62	4805.78	10572.71	15378.49	20184.27
730.00	88.35%	0.00	997.22	1904.24	2856.36	3808.49	4760.61	10473.33	15233.94	19994.55
730.00	88.35%	0.00	987.85	1886.34	2829.52	3772.69	4715.86	10374.89	15090.75	19806.61
730.00	88.35%	0.00	978.56	1868.61	2802.92	3737.23	4671.53	10277.37	14948.90	19620.43
730.00	88.35%	0.00	969.36	1851.05	2776.57	3702.10	4627.62	10180.77	14808.39	19436.01
730.00	88.35%	0.00	960.25	1833.65	2750.47	3667.30	4584.12	10085.07	14669.19	19253.32
730.00	88.35%	0.00	951.23	1816.41	2724.62	3632.83	4541.03	9990.28	14531.31	19072.34
730.00	88.35%	0.00	942.29	1799.34	2699.01	3598.68	4498.35	9896.37	14394.72	18893.07
730.00	87.89%	0.00	933.43	1773.05	2659.57	3546.09	4432.61	9751.75	14184.37	18616.98
730.00	87.89%	0.00	924.66	1756.38	2634.57	3512.76	4390.95	9660.09	14051.04	18441.99
730.00	87.89%	0.00	915.96	1739.87	2609.81	3479.74	4349.68	9569.29	13918.96	18268.64
730.00	87.89%	0.00	907.35	1723.52	2585.27	3447.03	4308.79	9479.34	13788.13	18096.92
730.00	87.89%	0.00	898.83	1707.32	2560.97	3414.63	4268.29	9390.24	13658.53	17926.82
730.00	87.89%	0.00	890.38	1691.27	2536.90	3382.54	4228.17	9301.97	13530.14	17758.31
730.00	87.89%	0.00	882.01	1675.37	2513.06	3350.74	4188.43	9214.54	13402.97	17591.39
730.00	87.89%	0.00	873.72	1659.62	2489.43	3319.25	4149.06	9127.93	13276.98	17426.04
730.00	87.89%	0.00	865.50	1644.02	2466.03	3288.05	4110.06	9042.13	13152.19	17262.24
730.00	87.89%	0.00	857.37	1628.57	2442.86	3257.14	4071.43	8957.14	13028.56	17099.99
730.00	87.89%	0.00	849.31	1613.26	2419.89	3226.52	4033.16	8872.94	12906.10	16939.25
730.00	87.89%	0.00	841.33	1598.10	2397.15	3196.20	3995.25	8789.54	12784.78	16780.03

730.00	89.28%	0.00	833.42	1608.20	2412.31	3216.41	4020.51	8845.13	12865.64	16886.15
730.00	89.28%	0.00	825.58	1593.09	2389.63	3186.18	3982.72	8761.99	12744.71	16727.43
730.00	89.28%	0.00	817.82	1578.11	2367.17	3156.23	3945.28	8679.63	12624.91	16570.20
730.00	89.28%	0.00	810.14	1563.28	2344.92	3126.56	3908.20	8598.04	12506.24	16414.44
730.00	89.28%	0.00	802.52	1548.59	2322.88	3097.17	3871.47	8517.22	12388.69	16260.15
730.00	89.28%	0.00	794.98	1534.03	2301.04	3068.06	3835.07	8437.16	12272.24	16107.31
730.00	89.28%	0.00	787.51	1519.61	2279.42	3039.22	3799.03	8357.86	12156.89	15955.91
730.00	89.28%	0.00	780.10	1505.33	2257.99	3010.65	3763.32	8279.30	12042.62	15805.93
730.00	89.28%	0.00	772.77	1491.18	2236.77	2982.35	3727.94	8201.48	11929.42	15657.36
730.00	89.28%	0.00	765.51	1477.16	2215.74	2954.32	3692.90	8124.39	11817.29	15510.19
730.00	89.28%	0.00	758.31	1463.28	2194.91	2926.55	3658.19	8048.02	11706.21	15364.40
730.00	89.28%	0.00	751.18	1449.52	2174.28	2899.04	3623.81	7972.37	11596.18	15219.98
730.00	88.82%	0.00	744.12	1428.42	2142.63	2856.84	3571.05	7856.30	11427.35	14998.39
730.00	88.82%	0.00	737.13	1414.99	2122.49	2829.98	3537.48	7782.46	11319.94	14857.42
730.00	88.82%	0.00	730.20	1401.69	2102.54	2803.38	3504.23	7709.30	11213.53	14717.76
730.00	88.82%	0.00	723.34	1388.52	2082.77	2777.03	3471.29	7636.84	11108.13	14579.42
730.00	88.82%	0.00	716.54	1375.46	2063.20	2750.93	3438.66	7565.06	11003.72	14442.38
730.00	88.82%	0.00	709.80	1362.54	2043.80	2725.07	3406.34	7493.95	10900.29	14306.63
730.00	88.82%	0.00	703.13	1349.73	2024.59	2699.46	3374.32	7423.51	10797.83	14172.15
730.00	88.82%	0.00	696.52	1337.04	2005.56	2674.08	3342.60	7353.73	10696.33	14038.94
730.00	88.82%	0.00	689.97	1324.47	1986.71	2648.95	3311.19	7284.61	10595.79	13906.98
730.00	88.82%	0.00	683.49	1312.02	1968.04	2624.05	3280.06	7216.13	10496.20	13776.26
730.00	88.82%	0.00	677.06	1299.69	1949.54	2599.38	3249.23	7148.31	10397.54	13646.77
730.00	88.82%	0.00	670.70	1287.48	1931.21	2574.95	3218.69	7081.11	10299.80	13518.49
730.00	88.35%	0.00	664.40	1268.70	1903.04	2537.39	3171.74	6977.83	10149.57	13321.31
730.00	88.35%	0.00	658.15	1256.77	1885.16	2513.54	3141.93	6912.24	10054.17	13196.10
730.00	88.35%	0.00	651.96	1244.96	1867.44	2489.92	3112.39	6847.27	9959.66	13072.06
730.00	88.35%	0.00	645.84	1233.26	1849.88	2466.51	3083.14	6782.91	9866.05	12949.19
730.00	88.35%	0.00	639.77	1221.66	1832.50	2443.33	3054.16	6719.15	9773.31	12827.47
730.00	88.35%	0.00	633.75	1210.18	1815.27	2420.36	3025.45	6655.99	9681.44	12706.90
730.00	88.35%	0.00	627.80	1198.81	1798.21	2397.61	2997.01	6593.43	9590.44	12587.46
730.00	88.35%	0.00	621.89	1187.54	1781.31	2375.07	2968.84	6531.45	9500.30	12469.14
730.00	88.35%	0.00	616.05	1176.37	1764.56	2352.75	2940.94	6470.06	9411.00	12351.93
730.00	88.35%	0.00	610.26	1165.32	1747.98	2330.63	2913.29	6409.24	9322.54	12235.83
730.00	88.35%	0.00	604.52	1154.36	1731.55	2308.73	2885.91	6349.00	9234.91	12120.82

730.00	88.35%	0.00	598.84	1143.51	1715.27	2287.03	2858.78	6289.32	9148.11	12006.89
730.00	87.89%	0.00	593.21	1126.80	1690.20	2253.61	2817.01	6197.41	9014.42	11831.43
730.00	87.89%	0.00	587.63	1116.21	1674.32	2232.42	2790.53	6139.16	8929.69	11720.22
730.00	87.89%	0.00	582.11	1105.72	1658.58	2211.44	2764.30	6081.46	8845.75	11610.05
730.00	87.89%	0.00	576.64	1095.33	1642.99	2190.65	2738.31	6024.29	8762.61	11500.92
730.00	87.89%	0.00	571.22	1085.03	1627.55	2170.06	2712.58	5967.67	8680.24	11392.82
730.00	87.89%	0.00	565.85	1074.83	1612.25	2149.66	2687.08	5911.57	8598.65	11285.73
730.00	87.89%	0.00	560.53	1064.73	1597.09	2129.46	2661.82	5856.01	8517.83	11179.65
730.00	87.89%	0.00	555.26	1054.72	1582.08	2109.44	2636.80	5800.96	8437.76	11074.56
730.00	87.89%	0.00	550.04	1044.81	1567.21	2089.61	2612.02	5746.44	8358.45	10970.47
730.00	87.89%	0.00	544.87	1034.99	1552.48	2069.97	2587.46	5692.42	8279.89	10867.35
730.00	87.89%	0.00	539.75	1025.26	1537.89	2050.51	2563.14	5638.91	8202.06	10765.20
730.00	87.89%	0.00	534.68	1015.62	1523.43	2031.24	2539.05	5585.91	8124.96	10664.01
730.00	87.42%	0.00	529.65	1000.75	1501.13	2001.50	2501.88	5504.13	8006.01	10507.88
730.00	87.42%	0.00	524.67	991.34	1487.02	1982.69	2478.36	5452.39	7930.75	10409.11
730.00	87.42%	0.00	519.74	982.03	1473.04	1964.05	2455.06	5401.14	7856.21	10311.27
730.00	87.42%	0.00	514.86	972.80	1459.19	1945.59	2431.99	5350.37	7782.36	10214.35
730.00	87.42%	0.00	510.02	963.65	1445.48	1927.30	2409.13	5300.08	7709.21	10118.34
730.00	87.42%	0.00	505.22	954.59	1431.89	1909.19	2386.48	5250.26	7636.75	10023.23
730.00	87.42%	0.00	500.47	945.62	1418.43	1891.24	2364.05	5200.91	7564.96	9929.02
730.00	87.42%	0.00	495.77	936.73	1405.10	1873.46	2341.83	5152.03	7493.86	9835.69
730.00	87.42%	0.00	491.11	927.93	1391.89	1855.85	2319.82	5103.60	7423.42	9743.23
730.00	87.42%	0.00	486.49	919.20	1378.81	1838.41	2298.01	5055.63	7353.64	9651.65
730.00	87.42%	0.00	481.92	910.56	1365.85	1821.13	2276.41	5008.11	7284.52	9560.93
730.00	87.42%	0.00	477.39	902.01	1353.01	1804.01	2255.01	4961.03	7216.05	9471.06
730.00	86.96%	0.00	472.90	888.77	1333.16	1777.55	2221.94	4888.26	7110.20	9332.13
730.00	86.96%	0.00	468.46	880.42	1320.63	1760.84	2201.05	4842.31	7043.36	9244.41
730.00	86.96%	0.00	464.06	872.14	1308.22	1744.29	2180.36	4796.80	6977.16	9157.52
730.00	86.96%	0.00	459.69	863.95	1295.92	1727.89	2159.87	4751.71	6911.58	9071.44
730.00	86.96%	0.00	455.37	855.83	1283.74	1711.65	2139.57	4707.04	6846.61	8986.18
730.00	86.96%	0.00	451.09	847.78	1271.67	1695.56	2119.45	4662.80	6782.25	8901.71
730.00	86.96%	0.00	446.85	839.81	1259.72	1679.63	2099.53	4618.97	6718.50	8818.04
730.00	86.96%	0.00	442.65	831.92	1247.88	1663.84	2079.80	4575.56	6655.35	8735.15
730.00	86.96%	0.00	438.49	824.10	1236.15	1648.20	2060.25	4532.55	6592.80	8653.04
730.00	86.96%	0.00	434.37	816.35	1224.53	1632.71	2040.88	4489.94	6530.83	8571.71

730.00	86.96%	0.00	430.29	808.68	1213.02	1617.36	2021.70	4447.74	6469.44	8491.14
730.00	86.96%	0.00	426.24	801.08	1201.62	1602.16	2002.70	4405.93	6408.63	8411.32
730.00	86.49%	0.00	422.24	789.31	1183.96	1578.61	1973.26	4341.18	6314.44	8287.70
730.00	86.49%	0.00	418.27	781.89	1172.83	1563.77	1954.71	4300.37	6255.09	8209.80
730.00	86.49%	0.00	414.34	774.54	1161.80	1549.07	1936.34	4259.95	6196.29	8132.63
730.00	86.49%	0.00	410.44	767.26	1150.88	1534.51	1918.14	4219.91	6138.05	8056.19
730.00	86.49%	0.00	406.58	760.04	1140.07	1520.09	1900.11	4180.24	6080.35	7980.47
730.00	86.49%	0.00	402.76	752.90	1129.35	1505.80	1882.25	4140.95	6023.20	7905.45
730.00	86.49%	0.00	398.98	745.82	1118.73	1491.65	1864.56	4102.03	5966.59	7831.14
730.00	86.49%	0.00	395.23	738.81	1108.22	1477.63	1847.03	4063.47	5910.50	7757.53
730.00	86.49%	0.00	391.51	731.87	1097.80	1463.74	1829.67	4025.28	5854.95	7684.62
730.00	86.49%	0.00	387.83	724.99	1087.48	1449.98	1812.47	3987.44	5799.91	7612.38
730.00	86.49%	0.00	384.18	718.17	1077.26	1436.35	1795.44	3949.96	5745.40	7540.83
730.00	86.49%	0.00	380.57	711.42	1067.14	1422.85	1778.56	3912.83	5691.39	7469.95