



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE
MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ZARAGOZA

“ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE
RECUPERACIÓN DE ENERGÍA RESIDUAL EN
UNA PLANTA GEOTÉRMICA MEDIANTE UN
CICLO RANKINE ORGÁNICO”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO QUIMICO

P R E S E N T A :

**ROBERTO MARTÍN
MONTEJANO BERMÚDEZ**

DIRECTOR: IQ. DOMINGA ORTIZ BAUTISTA



MÉXICO D.F.

MAYO 2010.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Gracias a Dios por todos los caminos
A mi madre por su incansable paciencia y amor
A mi padre por su férrea fuerza y sus consejos.

En el centro de un ojo me descubro;
No me mira, no miro en su mirada.
Se disipa el instante. Sin moverme,
Yo me quedo y me voy: soy una pausa.

Todo es presencia, todos los siglos son este instante.

¡Viva el mole de guajolote!

INDICE

Nomenclatura	8
Resumen	10
Introducción	11
Objetivos	14
Capitulo 1.0 “Fundamento teórico”	15
▪ 1.1 Principios básicos	16
▪ 1.2 Ciclo de Carnot.....	19
▪ 1.3 Derivación del ciclo de Carnot.....	21
▪ 1.4 La eficiencia de Carnot cómo un máximo posible de conversión.....	23
▪ 1.5 Ciclo de Rankine.....	24
▪ 1.6 Ciclo de Brayton.....	25
▪ 1.7 Refrigeración.....	26
▪ 1.8 Maquinas De Curzon-Ahlborn.....	27
▪ 1.9 Función ecológica.....	27
▪ 1.10 Ciclo Ranking Orgánico.....	28
Capitulo 2.0 “Diseño del sistema de recuperación de calor en unidad geotérmica”	29
▪ 2.1 Antecedentes.....	30
▪ 2.2 Ubicación de la planta geotermoeléctrica.....	31
▪ 2.3 Condiciones ambientales.....	32
▪ 2.4 Descripción del proceso.....	32



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

“ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA RESIDUAL EN UNA PLANTA GEOTÉRMICA MEDIANTE UN CICLO RANKINE ORGÁNICO”

ELABORÓ: R.M.B.

FECHA: AGOSTO/2009

HOJA 2 DE 74

▪ 2.5 Diagrama de flujo de proceso (DFP).....	34
▪ 2.6 Balance de materia y energía.....	35
▪ 2.7 Diagrama de tubería e instrumentación (DTI).....	36
▪ 2.8 Plano de localización general (PLG).....	46
Capítulo 3.0 “Análisis económico”	48
▪ 3.1 Elementos para la evaluación	49
▪ 3.2 Concepto de rentabilidad.....	50
▪ 3.3 Metodos de evaluación de inversiones.....	52
• 3.3.1 Contable.....	52
• 3.3.2 Flujos descontados.....	53
○ 3.3.2.1 Valor Actual Neto (VAN)	54
○ 3.3.2.2 La Tasa Interna de Retorno (TIR)	55
○ 3.3.2.3 La Relación Beneficio – Costo (B/C)	56
▪ 3.4 Costos de inversión fija.....	57
• 3.4.1 Equipos de proceso.....	57
• 3.4.2 Válvulas de control y seguridad.....	57
• 3.4.3 Instrumentos.....	57
• 3.4.4 Válvulas	58
• 3.4.5 Obra civil cimentaciones.....	58
○ 3.4.5.1 Turbogenerador GB-100A.....	58
○ 3.4.5.2 Turbogenerador GB-100B.....	58



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

“ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA RESIDUAL EN UNA PLANTA GEOTÉRMICA MEDIANTE UN CICLO RANKINE ORGÁNICO”

ELABORÓ: R.M.B.

FECHA: AGOSTO/2009

HOJA 3 DE 74

○ 3.4.5.3 Turbogenerador GB-100C.....	58
○ 3.4.5.4 Evaporador EA-100A.....	59
○ 3.4.5.5 Evaporador EA-100B.....	59
○ 3.4.5.6 Evaporador EA-100C.....	59
○ 3.4.5.7 Sobrecalentador EA-101A.....	59
○ 3.4.5.8 Sobrecalentador EA-101B.....	60
○ 3.4.5.9 Sobrecalentador EA-101C.....	60
○ 3.4.5.10 Condensador EA-102A.....	60
○ 3.4.5.11 Condensador EA-102B.....	60
○ 3.4.5.12 Condensador EA-102C.....	61
○ 3.4.5.13 Separador flash de salmuera FA-100A.....	61
○ 3.4.5.14 Separador flash de salmuera FA-100B.....	61
○ 3.4.5.15 Separador flash de salmuera FA-100C.....	61
○ 3.4.5.16 Separador flash de NH3 FA-102A.....	62
○ 3.4.5.17 Separador flash de NH3 FA-102B.....	62
○ 3.4.5.18 Separador flash de NH3 FA-102C.....	62
○ 3.4.5.19 Bombas de recirculación GA-100A.....	62
○ 3.4.5.20 Bombas de recirculación GA-100B.....	62
○ 3.4.5.21 Bombas de recirculación GA-100C.....	62
○ 3.4.5.22 Bombas de cebado GA-102.....	63
○ 3.4.5.23 Torre de enfriamiento TE-5501.....	63



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

“ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA RESIDUAL EN UNA PLANTA GEOTÉRMICA MEDIANTE UN CICLO RANKINE ORGÁNICO”

ELABORÓ: R.M.B.

FECHA: AGOSTO/2009

HOJA 4 DE 74

- 3.4.5.24 Tanque de almacenamiento de amoniaco.....63
 - 3.4.6 Obra civil edificaciones.....63
 - 3.4.6.1 Edificio del turbogenerador A.....63
 - 3.4.6.2 Edificio del turbogenerador B.....64
 - 3.4.6.3 Edificio del turbogenerador C.....64
 - 3.4.6.4 Losa de piso del edificio del turbogenerador A.....64
 - 3.4.6.5 Losa de piso del edificio del turbogenerador B.....64
 - 3.4.6.6 Losa de piso del edificio del turbogenerador C.....64
 - 3.4.6.7 Cuarto de control del turbogenerador A.....65
 - 3.4.6.8 Cuarto de control del turbogenerador B.....65
 - 3.4.6.9 Cuarto de control del turbogenerador C.....65
 - 3.4.6.10 Drenajes y trincheras del edificio del turbogenerador A...65
 - 3.4.6.11 Drenajes y trincheras del edificio del turbogenerador B...65
 - 3.4.6.12 Drenajes y trincheras del edificio del turbogenerador C...66
 - 3.4.6.13 Cisternas.....66
 - 3.4.7 Tuberías.....66
 - 3.4.8 Instalación eléctrica.....66
 - 3.4.9 Terreno.....66
 - 3.4.10 Imprevistos.....66
- 3.5 Costos de Inversión Diferida.....67
- 3.6 Ingresos y gastos de operación68



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

“ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA RESIDUAL EN UNA PLANTA GEOTÉRMICA MEDIANTE UN CICLO RANKINE ORGÁNICO”

ELABORÓ: R.M.B.

FECHA: AGOSTO/2009

HOJA 5 DE 74

- 3.7 Cálculo de los ingresos por año.....69
- 3.8 Cálculo de la VAN.....69
- 3.9 Cálculo de la TIR.....69
- 3.10 Cálculo del retorno de la Inversión.....70
- 3.11 Cálculo de la relación Beneficio-Costo.....70
- 3.12 Tendencia del costo del kw/hr.....71

Conclusiones.....72

Bibliografía.....73

Anexo A “Balance de materia y energía”

Anexo B “Memoria de cálculo de bombas de recirculación

Anexo C “Memoria de cálculo de separador flash”

Anexo D “Memoria de cálculo de intercambiadores de calor”

Anexo E “Memoria de cálculo de líneas e índice de líneas”



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

“ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA RESIDUAL EN UNA PLANTA GEOTÉRMICA MEDIANTE UN CICLO RANKINE ORGÁNICO”

ELABORÓ: R.M.B.

FECHA: AGOSTO/2009

HOJA 6 DE 74

ÍNDICE DE FIGURAS

- Fig. 1-1: Esquema de una máquina de calor movida por un reservorio caliente.....15
- Fig. 1-2: Máquina de calor basada en un fluido de trabajo que circula a través de cuatro equipos de transferencia de calor y de trabajo.....16
- Fig. 1-3: Demostración de la equivalencia de los dos enunciados de la segunda ley.....17
- Fig. 1.2-1: Diagrama PV para un ciclo de Carnot con un gas ideal como fluido de trabajo.....19
- Fig. 1.5-1: Diagramas TS para una planta de energía eléctrica con y sin sobrecalentamiento...23
- Figura 1.6-1: Diagramas Pv y Ts para un ciclo Brayton.....25
- Fig. 2.1 Ubicación de la planta geotermoeléctrica cerro prieto.....30
- Fig. 2.2 Diagrama H-P para el refrigerante 717.....35



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

“ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA RESIDUAL EN UNA PLANTA GEOTÉRMICA MEDIANTE UN CICLO RANKINE ORGÁNICO”

ELABORÓ: R.M.B.

FECHA: AGOSTO/2009

HOJA 7 DE 74

RESUMEN.

En la planta geotérmica, el agua proveniente de los pozos se lleva a una separación flash, la cual se lleva a cabo en la saliente de cada pozo para separar el vapor y transportarlo a los generadores. Por otro lado, el condensado de los fondos de esta separación es un flujo muy grande el cual aún tiene una alta temperatura. Dicho condensado actualmente se manda a una laguna de secado solar, dejando sin aprovechamiento la energía calorífica residual del fluido.

El condensado proveniente de los pozos contiene una alta concentración de sales disueltas, lo cual representa un problema en cuanto a la utilización del calor residual, dado que si la temperatura disminuye, la solubilidad de las sales disminuirá. Esto provocará decantación de sólidos en el fluido y por ende incrustación en las tuberías que lo transportan y equipos que lo manejen. Sin embargo la utilización del mayor rango de temperaturas es sustancial para una eficiente recuperación de energía.

Para las condiciones de salinidad que presenta el fluido se tuvo que diseñar un proceso óptimo, así como equipos que son adecuados, para que en conjunto mantengan un alto desempeño en la recuperación del calor residual.

El esquema que se propuso en esta tesis como un método adecuado para el aprovechamiento de la energía calorífica residual de los condensados en la planta geotérmica de Cerro gordo estuvo basado en la tecnología de recuperación de calor a baja temperatura mediante un ciclo Rankine orgánico. Éste tiene sus fundamentos en las propiedades de algunos fluidos orgánicos los cuales tienen por característica principal un bajo punto de ebullición, con el propósito de llevarlos a la fase de vapor sobrecalentado y aprovechar al máximo la energía recuperable. Para este proyecto el fluido más adecuado fue el amoníaco, ya que las temperaturas con las cuales se cuenta en el vapor saturado recuperado del proceso son no mayores a 120°C y el amoníaco tiene un mayor cambio de entalpías a bajos rangos de temperatura.

Con el proceso propuesto se logró recuperar 42.47 MW de energía a partir de tres turbinas de contrapresión. Para llevar a cabo el desarrollo del proyecto se tendría que hacer un gasto superior a los 720 MM pesos, sin embargo la inyección de este flujo energético a la red de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) proporcionaría ingresos por más de 177 MM de pesos anuales tomando en cuenta el precio más bajo por kW/hr; de esta forma la inversión inicial se recuperaría en menos de 4 años teniendo una tasa interna de retorno (TIR) en once años del 25%, con un valor actual neto de 597,963,087.95 pesos y una relación Beneficio – Costo igual a 2.9.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

“ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA RESIDUAL EN UNA PLANTA GEOTÉRMICA MEDIANTE UN CICLO RANKINE ORGÁNICO”

ELABORÓ: R.M.B.

FECHA: AGOSTO/2009

HOJA 10 DE 74

INTRODUCCIÓN

Debido a la creciente demanda de energía eléctrica que se ha suscitado durante los últimos años y máxime el incremento sobre sus precios cuya causa es en gran parte la contemporánea escasez de recursos petrolíferos, de los cuales se obtiene la mayor parte de la energía eléctrica mediante su quemado, surge la necesidad del ahorro energético y la búsqueda por nuevas alternativas de recuperación.

Reciclar el calor residual generado por procesos industriales convencionales, como plantas de generación eléctrica, representa una gran oportunidad, generando una cantidad inapreciable de energía en forma absolutamente sustentable. Cuándo se habla de conservación o eficiencia energética, de manera habitual se ignora la forma más simple, eficiente y conveniente dada la relación de costes y efectos estimados de obtenerla, esto es el reciclaje de la energía que desperdiciamos.

Si bien con los valores actuales, la inversión en un proyecto de recuperación de calor residual y generación de electricidad limpia representa un período de recuperación del capital inferior a 5 años, muchas empresas desconocen o no se toman el tiempo para considerar que hacer con sus desechos; en este caso el calor. En algunos casos las barreras existentes para inyectar excedentes de generación a la red, o las dificultades para suministrarle esa energía a otras empresas a través de contratos directos, podrían significar una prolongación del periodo de retorno de la inversión. Sin embargo las constantes alzas en los precios de los combustibles hacen que el ahorro en el aprovechamiento energético de calores residuales, que es independiente de estos, sea cada vez mayor.

La cogeneración energética es un proceso conocido, cuya aplicación data de los principios del siglo XVIII donde su forma más representativa eran los pequeños molinos instalados dentro de una chimenea. La última década del mismo siglo dio lugar al nacimiento de la industria eléctrica y a la invención de los motores de combustión interna, los cuales propiciaron la expansión del mercado de la generación combinada de potencia y calor. En el pasado su evolución no obedecía, como lo es ahora, a la necesidad de ahorrar energía, sino al propósito de asegurar el suministro de la electricidad y el calor, que en esos años era insuficiente y no confiable.

Tradicionalmente, el aprovechamiento del calor residual se ha realizado a través de calderas de recuperación, las cuales lo utilizan para generar vapor y accionar una turbina. Una alternativa que



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

“ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA RESIDUAL EN UNA PLANTA GEOTÉRMICA MEDIANTE UN CICLO RANKINE ORGÁNICO”

ELABORÓ: R.M.B.

FECHA: AGOSTO/2009

HOJA 11 DE 74

utiliza la misma fuente para generar vapor de agua, a través de un intercambiador de calor, es el Ciclo Rankine, desarrollado por el físico escocés William John Macquorn Rankine a fines del 1800, pero que se torna ineficiente a partir del momento en que la temperatura de la fuente de calor disminuye a valores inferiores a 500°C.

La necesidad de ampliar su rango de acción, incluso con mayor eficiencia, ha llevado al desarrollo de una tecnología basada en el ciclo binario de Rankine, pero que utiliza fluidos alternativos, como propano, isobutano y otros los cuales evaporan a temperaturas bastante más bajas, en un circuito cerrado y sellado. Esta tecnología, llamada Ciclo Rankine Orgánico, u ORC como sus siglas en inglés, ha encontrado su principal aplicación en plantas geotérmicas.

El permanente desarrollo en el sector de la generación por recuperación de calor residual nos permite disponer hoy en día de una tecnología que logra aumentar aún más la eficiencia en la relación entre el calor utilizado y la energía generada, a través de la utilización de diversos intercambiadores de calor y turbo-expansores en línea, denominado “Cascading Closed Loop Cycle”.

En este proyecto se hacen evidentes los problemas de desperdicio de energía en una planta geotérmica. Una de las consideraciones principales de este proyecto es que con su implementación se logrará aumentar la generación de energía producida por la geotérmica reduciendo los desperdicios calóricos de los efluentes condensados; desecho del proceso principal de generación que se tiene instalado.

Asimismo, con este proyecto se garantiza el aprovechamiento eficiente de energía, la cual proviene de los efluentes, que actualmente se considera un desecho no recuperable. De esta manera se podrá contar con un segundo plano de generación de energía.

Por las razones expuestas hasta este punto, resulta de natural interés para la industria contemporánea y por ende para las instituciones de educación superior la búsqueda de formas más eficaces para aprovechar las fuentes existentes de energía térmica. Formas que sean redituables y no sólo espejismos debidos a una desesperación por el ahorro energético no viable. Con todo esto, además, se toma en consideración el compromiso actual de los especialistas de la ingeniería en el desarrollo y modificación de procesos que resulten sustentables y amigables con el ambiente.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

“ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA RESIDUAL EN UNA PLANTA GEOTÉRMICA MEDIANTE UN CICLO RANKINE ORGÁNICO”

ELABORÓ: R.M.B.

FECHA: AGOSTO/2009

HOJA 12 DE 74

De esta manera, esta tesis surge como una oportunidad de aplicar algunos de los desarrollos más recientes en el terreno de la termodinámica en los procesos actuales para la transformación de flujos de calor (aun bajos) en potencia utilizable. Partiendo del hecho de que todos estos procesos se encuentran gobernados por las leyes de la termodinámica, es posible llevar a cabo un análisis sistemático de la mecánica seguida por los mismos.

Así, aplicando primordialmente los conceptos correspondientes a la segunda ley de la termodinámica es posible definir el comportamiento de la energía con énfasis en su calidad, degradación y las oportunidades de incremento en la capacidad de aprovechamiento de la misma.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

“ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA RESIDUAL EN UNA PLANTA GEOTÉRMICA MEDIANTE UN CICLO RANKINE ORGÁNICO”

ELABORÓ: R.M.B.

FECHA: AGOSTO/2009

HOJA 13 DE 74

OBJETIVOS.

GENERAL.

- Evaluar el potencial energético del calor residual de la planta geotérmica mediante un ciclo orgánico Rankine.

PARTICULARES.

- Conceptualización y diseño óptimo del esquema de proceso para la recuperación de calor y producción de energía.
- Análisis del balance de materia y energía.
- Análisis económico del proyecto.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

“ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA RESIDUAL EN UNA PLANTA GEOTÉRMICA MEDIANTE UN CICLO RANKINE ORGÁNICO”

ELABORÓ: R.M.B.

FECHA: AGOSTO/2009

HOJA 14 DE 74

CAPITULO I

FUNDAMENTO TEÓRICO



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

“ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA RESIDUAL EN UNA PLANTA GEOTÉRMICA MEDIANTE UN CICLO RANKINE ORGÁNICO”

ELABORÓ: R.M.B.

FECHA: AGOSTO/2009

HOJA 15 DE 74

1.1 Principios básicos

Una máquina térmica es un sistema operando en ciclo que recibe calor a alta temperatura de una fuente, denominada reservorio caliente, y produce trabajo utilizable. No obstante, dado que la eficiencia de conversión debe ser menor al 100%, parte del calor suministrado debe ser rechazado hacia un reservorio frío. La figura 1-1 muestra un esquema una máquina térmica y de los reservorios térmicos asociados con ella.

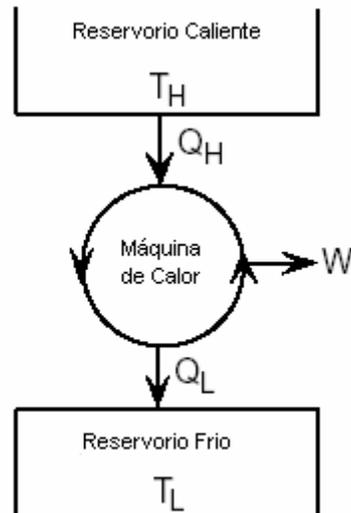


Fig. 1-1: Esquema de una máquina de calor movida por un reservorio caliente.

Los reservorios tienen la característica de proporcionar o recibir calor sin alterar sus temperaturas. Los flujos de calor en los reservorios son reversibles, aunque los procesos dentro de la máquina térmica pueden involucrar irreversibilidades. El círculo de la figura 1-1 es una representación abreviada de la máquina térmica. Tiene el propósito de mostrar que la sustancia empleada (un fluido tal como un gas ideal o agua) se mueve entre diferentes estados termodinámicos en un proceso cíclico sin fin. La estructura detallada de cada máquina de calor puede variar enormemente, pero la versión más sencilla consta de cuatro etapas:

1. Una primera etapa en la cual se absorbe calor de forma isotérmica de un reservorio a alta temperatura.
2. En la siguiente se produce trabajo de forma adiabática.
3. A continuación se rechaza, de forma isotérmica, el calor no aprovechado hacia el reservorio de baja temperatura.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

“ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA RESIDUAL EN UNA PLANTA GEOTÉRMICA MEDIANTE UN CICLO RANKINE ORGÁNICO”

ELABORÓ: R.M.B.

FECHA: AGOSTO/2009

HOJA 16 DE 74

4. Un paso final en el cual se suministra trabajo para llevar al fluido de trabajo de vuelta al estado en que se inicio la primera etapa.

La máquina térmica puede operar en dos formas ya sea como un solo aparato que se mueve en forma secuencial a través de los cuatro procesos descritos anteriormente, o con un fluido avanzando a través de diferentes aparatos, cada uno ejecutando específicamente uno de los cuatro pasos.

La configuración tradicional utilizada por todos los autores realiza los cuatro procesos mediante operaciones unitarias que se efectúan sobre el fluido de trabajo. Esta es la configuración de una planta de energía eléctrica, de tipo nuclear o fósil. La caldera (generador de vapor en una planta nuclear) recibe calor de una fuente primaria. El condensador rechaza calor a un escape como puede ser un río, lago o torre de enfriamiento. La turbina produce trabajo en una flecha, la mayor parte del cual se transformará a potencia eléctrica con alta eficiencia. De cualquier modo, parte de la potencia de la turbina es consumida internamente por la bomba utilizada para mantener la circulación del fluido en el ciclo. El trabajo neto del ciclo esta dado por la ecuación (1-1):

$$W = W_{(2-3)} - W_{(4-1)} \quad (1-1)$$

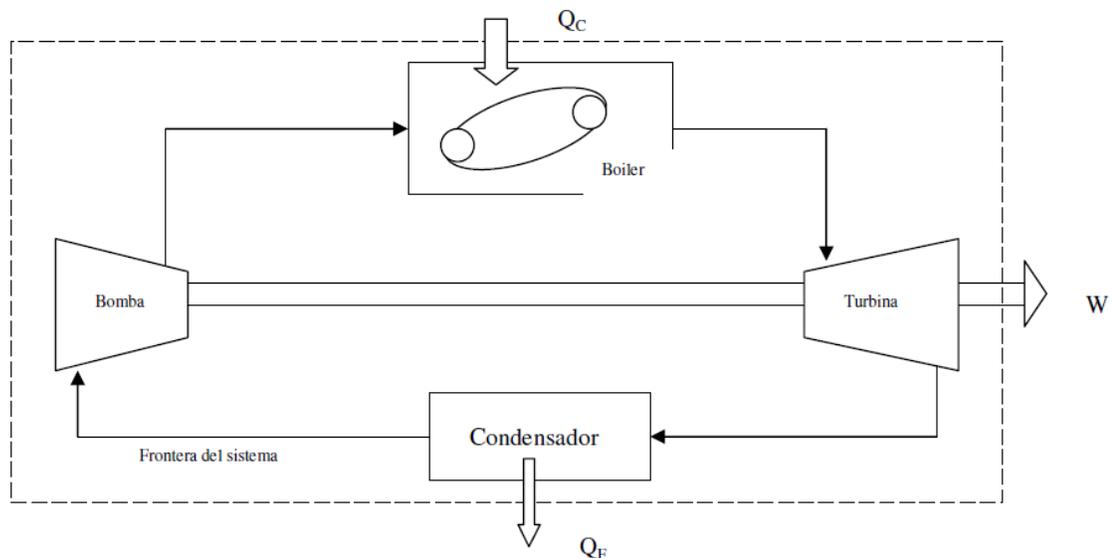


Fig. 1-2: Máquina de calor basada en un fluido de trabajo que circula a través de cuatro equipos de transferencia de calor y de trabajo.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

“ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA RESIDUAL EN UNA PLANTA GEOTÉRMICA MEDIANTE UN CICLO RANKINE ORGÁNICO”

ELABORÓ: R.M.B.

FECHA: AGOSTO/2009

HOJA 17 DE 74

La primera ley de la termodinámica nos muestra el siguiente balance para el sistema:

$$Q_C = Q_F - W \quad (1-2)$$

En el cual Q_C y Q_F son la cantidad de calor entregada por el reservorio caliente y recibida por el reservorio frío, respectivamente. W es el trabajo neto del ciclo. Dada la naturaleza del sistema, no existe diferencia de energía interna entre los ciclos.

Segunda Ley de la Termodinámica Aplicada a Ciclos de Potencia.

Las siguientes restricciones cuantitativas se descubrieron en las máquinas de calor en el siglo XIX y originaron el concepto de la entropía. Estas restricciones limitan el funcionamiento de los ciclos en una forma mucho más clara de lo que hace la primera ley. Ambas son expresiones equivalentes de la segunda ley, y se encuentran basadas en evidencia empírica. El enunciado de Kelvin-Planck dice que ningún ciclo puede producir trabajo útil con solo un reservorio térmico. Esta es la redacción formal de un hecho que se conocía desde antes y se anotaba como que el calor no puede convertirse completamente en trabajo. El enunciado de Kelvin-Planck afirma que Q_F en la figura 1-2 no puede valer cero. El enunciado de Clausius dice que ningún ciclo puede producir solamente transferencia de calor de un reservorio frío hacia uno caliente. Este enunciado esencialmente prohíbe que el calor fluya de cuerpos fríos hacia cuerpos calientes. Con respecto a la figura 1-1 el enunciado de Clausius indica que la dirección de Q_C y Q_F no puede ser invertida y llevar el valor de W a cero al mismo tiempo. No obstante, esta versión de la segunda ley no prohíbe por completo la transferencia de calor de un cuerpo frío hacia uno caliente, simplemente requiere que se aplique trabajo externo para lograr este efecto. La dirección de todas las flechas en la figura 1-1 puede invertirse y convertir la máquina en una bomba de calor. Ambas expresiones de la segunda ley parecen diferentes, pero en esencia son equivalentes. Esta equivalencia se aprecia en la figura 1-3, la cual contiene a la máquina de calor A y a la bomba de calor B las cuales operan entre los mismos reservorios caliente y frío

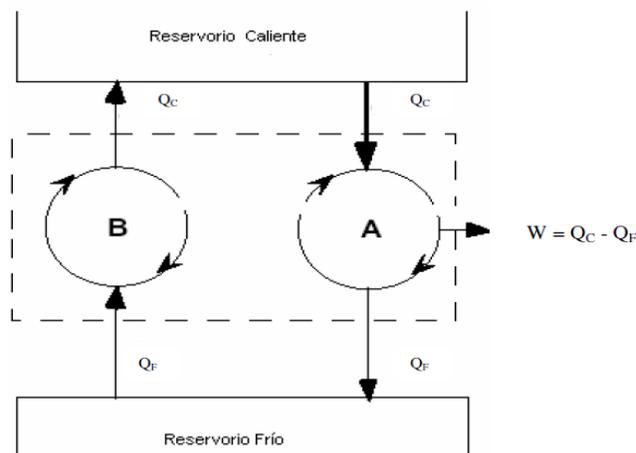


Fig. 1-3: Demostración de la equivalencia de los dos enunciados de la segunda ley.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

“ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA RESIDUAL EN UNA PLANTA GEOTÉRMICA MEDIANTE UN CICLO RANKINE ORGÁNICO”

ELABORÓ: R.M.B.

FECHA: AGOSTO/2009

HOJA 18 DE 74

Los equipos están acomodados de manera tal que el calor retirado del reservorio frío por la bomba B tiene la misma magnitud que el calor rechazado por la máquina A.

Por lo tanto, ambos se cancelan de forma tal que el reservorio frío no sufre una transferencia de calor neta. El ciclo B viola el enunciado de Clausius. Solo queda por demostrar que la combinación del ciclo A y B viola el enunciado de Kelvin-Planck.

El ciclo A recibe la cantidad de calor Q_C del reservorio caliente que es mayor que la entregada por el ciclo B: Aplicando la primera ley a este sistema existe una conversión total del diferencial de los calores involucrados a trabajo sin que se rechace cantidad alguna de calor al reservorio frío, lo cual viola flagrantemente el enunciado de Kelvin-Planck. El conjunto de la figura 1-3, conocido como una máquina de movimiento perpetuo del segundo tipo, falla en cumplir ambos enunciados de la segunda ley.

1.2 Ciclo de Carnot

El ciclo ideal de Carnot fue propuesto por el físico francés Sadi Carnot, que vivió a principios del siglo XIX. Una máquina de Carnot es perfecta, es decir, convierte la máxima energía térmica posible en trabajo mecánico. Carnot demostró que la eficiencia máxima de cualquier máquina depende de la diferencia entre las temperaturas máxima y mínima alcanzadas durante un ciclo. Cuanto mayor es esa diferencia, más eficiente es la máquina. Por ejemplo, un motor de automóvil sería más eficiente si el combustible se quemara a mayor temperatura o los gases de escape salieran a menor temperatura.

En un Ciclo de Carnot se asumen cuatro trayectorias ideales, dos de ellas se llevan a cabo en forma isoentrópica, de tal modo que el trabajo obtenido y suministrado es máximo dado que no existen irreversibilidades de ninguna clase. Las otras dos implican transferencias de calor isotérmicas las cuales son igualmente reversibles.

El Ciclo de Carnot implica otras idealizaciones. En primer lugar el fluido de trabajo es un gas ideal en el cual no existe ningún tipo de irreversibilidad a lo largo de todo el ciclo. Asimismo todos los elementos mecánicos se encuentran perfectamente bien lubricados de modo que no existe fricción en ningún punto del sistema. Finalmente se asume que las Temperaturas del reservorio frío y el reservorio caliente son idénticas a las temperaturas del fluido de trabajo y aislamiento absoluto de ambos reservorios a otras transferencias de calor.

Durante una porción del ciclo realizado en una máquina, una cantidad de calor es absorbida de un reservorio caliente. En otra porción, una cantidad de calor más pequeña es rechazada hacia un reservorio frío. Por lo tanto se dice que la máquina opera entre estos dos reservorios. Es un hecho de la experiencia que siempre se rechazará una parte del calor hacia el reservorio frío; por esta razón, la eficiencia de una máquina real nunca es del 100%. El primer ciclo que consideraré es denominado el Ciclo de Carnot.

Descrito por primera vez por el ingeniero militar francés Sadi Carnot, en 1824, ha demostrado tener un considerable interés teórico, aunque un limitado uso práctico. Los procesos que conforman este ciclo son isotermos o adiabáticos. Los pasos del ciclo ideal de Carnot son:



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

“ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA RESIDUAL EN UNA PLANTA GEOTÉRMICA MEDIANTE UN CICLO RANKINE ORGÁNICO”

ELABORÓ: R.M.B.

FECHA: AGOSTO/2009

HOJA 19 DE 74

1. Expansión isotérmica de V_a, P_a hasta V_b, P_b absorbiendo calor Q_c .
2. Expansión adiabática reversible desde V_b, P_b hasta V_c, P_c con un descenso de temperatura de T_C hasta T_F .
3. Contracción isotérmica de V_c, P_c hasta V_d, P_d a T_F consumiendo la cantidad de calor denominada Q_F .
4. Compresión adiabática reversible desde V_d, P_d hasta V_a, P_a con un incremento de la temperatura que se mueve desde T_F hasta T_C .

El sistema ha retornado a su estado inicial y una cantidad de trabajo, W , ha sido efectuada por el sistema. Por la ley de la conservación de la energía tenemos la ecuación 1.2-1, y la figura 1.2-1 que nos muestra la trayectoria del ciclo en un diagrama PV.

$$W = Q_C - Q_F \quad (1.2-1)$$

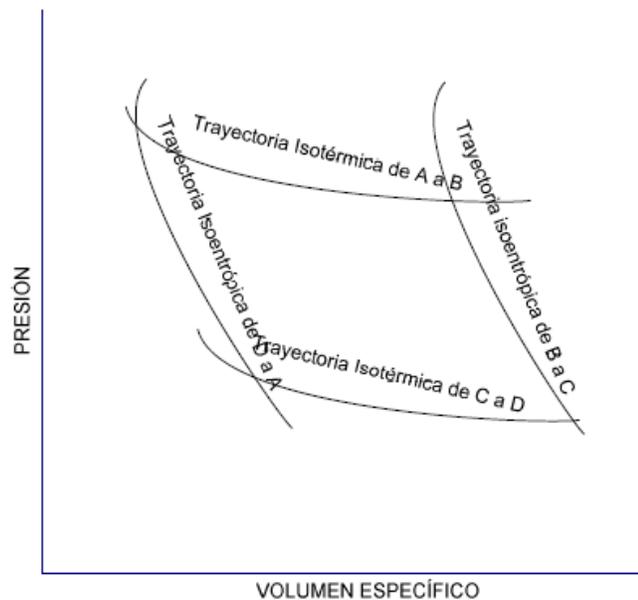


Figura 1.2-1: Diagrama PV para un ciclo de Carnot con un gas ideal como fluido de trabajo.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

“ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA RESIDUAL EN UNA PLANTA GEOTÉRMICA MEDIANTE UN CICLO RANKINE ORGÁNICO”

ELABORÓ: R.M.B.

FECHA: AGOSTO/2009

HOJA 20 DE 74

La eficiencia térmica, η , de un ciclo que opera como una máquina térmica se obtiene mediante la ecuación 1.1-2:

$$\eta = \frac{W}{|Q_C|} \quad (1.1-2)$$

El símbolo de valor absoluto se utiliza para eliminar cualquier confusión acerca del sentido en que el calor está fluyendo y si es positivo o negativo. Podemos utilizar la conservación de la energía como se muestra en (1.1-1) para encontrar la eficiencia del ciclo en términos de Q_C y Q_F .

$$\eta = 1 - \frac{|Q_F|}{|Q_C|} \quad (1.1-3)$$

Las ecuaciones (1.1-2) y (1.1-3) son verdaderas para cualquier ciclo. El ciclo de Carnot es útil en el estudio de máquinas reales y ciclos de refrigeración principalmente porque es posible derivar la eficiencia del ciclo de Carnot para un gas ideal en términos de las temperaturas de los reservorios de calor.

1.3 Derivación de la eficiencia del ciclo de Carnot

La derivación se inicia notando que para el ciclo de Carnot el calor es absorbido de un reservorio caliente y es eliminado hacia el reservorio frío mediante procesos isotérmicos. Dado que la energía interna de un gas ideal depende solamente de la temperatura, no existe cambio alguno en la energía interna del fluido durante procesos isotérmicos. La primera ley nos permite encontrar calor en términos de trabajo.

$$\Delta U = Q + W = 0 \quad (1.3-1)$$

Podemos aplicar la integral para el gas ideal en un proceso isotérmico. Los resultados para las dos porciones isotérmicas de un ciclo de Carnot son:

$$|Q_f| = nRT_f \ln\left(\frac{V_C}{V_D}\right)$$

y

$$|Q_C| = nRT_C \ln\left(\frac{V_B}{V_A}\right)$$

Sustituyendo estos resultados en la ecuación (1.1-3)



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

“ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA RESIDUAL EN UNA PLANTA GEOTÉRMICA MEDIANTE UN CICLO RANKINE ORGÁNICO”

ELABORÓ: R.M.B.

FECHA: AGOSTO/2009

HOJA 21 DE 74

$$\eta = 1 - \frac{T_f \ln\left(\frac{V_C}{V_D}\right)}{T_C \ln\left(\frac{V_B}{V_A}\right)} \quad (1.3-2)$$

Esta expresión puede ser simplificada aún más utilizando las relaciones entre P y V en las isothermas y adiabatas:

$$P_A V_A = P_B V_B$$

$$P_C V_C = P_D V_D$$

$$P_B V_B^\gamma = P_C V_C^\gamma$$

$$P_D V_D^\gamma = P_A V_A^\gamma$$

En donde las primeras dos ecuaciones son isothermas y las otras dos son adiabatas. Multiplicando estas cuatro ecuaciones entre sí, se simplifican para obtener:

$$V_B^{\gamma-1} V_D^{\gamma-1} = V_C^{\gamma-1} V_A^{\gamma-1} \quad (1.3-3)$$

Por lo tanto

$$\frac{V_B}{V_A} = \frac{V_C}{V_D}$$

y

$$\ln\left(\frac{V_B}{V_A}\right) = \ln\left(\frac{V_C}{V_D}\right)$$

Sustituyendo estas identidades en la ecuación (1.1-4), encontramos que la eficiencia para un ciclo de Carnot con un gas ideal

$$\eta = 1 - \frac{T_f}{T_c} \quad (1.3-4)$$

Comparando este resultado con la definición de la eficiencia térmica, obtenemos:



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

“ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA RESIDUAL EN UNA PLANTA GEOTÉRMICA MEDIANTE UN CICLO RANKINE ORGÁNICO”

ELABORÓ: R.M.B.

FECHA: AGOSTO/2009

HOJA 22 DE 74

$$\frac{|Q_f|}{|Q_c|} = \frac{T_f}{T_c} \quad (1.3-5)$$

Un estudio más profundo del ciclo de Carnot lleva hacia dos senderos diferentes.

Primeramente es posible estudiar los ciclos para modelar maquinas de calor y refrigeradores reales. En esta corriente, la eficiencia de Carnot sirve como una eficiencia limitante. Un segundo enfoque lleva hacia la segunda ley de la Termodinámica.

1.4 La eficiencia de Carnot como un máximo posible de conversión.

La prueba de que la eficiencia de un ciclo de Carnot con un gas ideal es la máxima posible para una máquina térmica operando entre TC y TF reside en dos hechos.

En primer lugar el ciclo de Carnot es reversible. Las transformaciones isotérmicas cuasi-estáticas pueden ser invertidas de manera tal que el calor puede fluir en dirección opuesta. El proceso adiabático puede revertirse y regresar el sistema a su estado inicial. Si se revierte la dirección del ciclo la máquina de Carnot se transforma en un refrigerador de Carnot. Una cantidad de calor QF es removida del reservorio frío y un QC es enviado hacia el reservorio caliente. La cantidad de trabajo W debe ser alimentada al refrigerador en cada ciclo. La derivación de la eficiencia del ciclo no asume la dirección del mismo, así que los resultados, de la ecuación (1.3-4) y la ecuación (1.3-5), aplican para el refrigerador tanto como para la máquina térmica.

En segundo lugar un examen de todos los tipos de máquinas de calor revela que cada máquina absorbe calor a una temperatura y expulsa calor a una temperatura inferior. Esta observación se denomina principio de Kelvin: *Ningún proceso es posible en el cual el único resultado sea la absorción de calor y la conversión a trabajo.*

Si este principio no fuese cierto, sería posible construir una máquina que extrajera calor de un gran reservorio caliente, tal como el océano y convertirlo completamente en trabajo. Simplemente tendría sentido pensar que cierta cantidad de calor se perderá hacia un reservorio frío.

Una observación similar puede hacerse con respecto a los refrigeradores dado que ninguno de estos equipos puede transferir calor desde un reservorio frío hasta un reservorio caliente sin que se añada trabajo al sistema. Esta observación es denominada el enunciado de Clausius: *Ningún proceso es posible cuyo único resultado es la transferencia de calor de un reservorio frío hasta un reservorio caliente.* El principio de Kelvin y el enunciado de Clausius parecerían violar la primera ley de la Termodinámica, por el contrario introduce nueva información física. La segunda ley de la termodinámica utiliza estos enunciados.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

“ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA RESIDUAL EN UNA PLANTA GEOTÉRMICA MEDIANTE UN CICLO RANKINE ORGÁNICO”

ELABORÓ: R.M.B.

FECHA: AGOSTO/2009

HOJA 23 DE 74

1.5 Ciclo de Rankine

El Ciclo Rankine es el prototipo ideal de las máquinas de vapor utilizadas en la actualidad. El ciclo implica transferencias de calor que se realizan de forma isobárica e isotérmica en las regiones del ciclo en las que esto es posible. No obstante, en este tipo de ciclos se utilizan temperaturas del reservorio caliente y del reservorio frío diferentes a las temperaturas del fluido de trabajo. La presencia de gradientes de temperatura en la transferencia de calor implica de inmediato generación de entropía de acuerdo con la Segunda Ley de la Termodinámica. El ciclo incluye un calentamiento a presión constante seguido de una expansión isoentrópica de la cual se obtiene el trabajo deseado. A continuación se realiza un enfriamiento isóbaro y el ciclo se cierra con un aumento de presión isoentrópico. Claramente este proceso mantiene un estado idealizado al considerar que las transferencias de trabajo se llevan a cabo de forma reversible.

Las plantas de energía eléctrica producen dicho potencial mediante el uso de combustibles tales como carbón mineral, petróleo o gas natural. Una planta de energía eléctrica simple consiste en un hervidor o caldera, una turbina, un condensador y una bomba. El combustible es quemado en la caldera y en el “sobrecalentador”; con esta energía se calienta agua para generar vapor. Dicho vapor es llevado, a continuación, a un estado de en el “sobrecalentador”. Este vapor es utilizado para hacer girar la turbina que proporciona la potencia al generador. Esta potencia mecánica es transformada en energía eléctrica cuando las aspas del generador giran y dan lugar a un poderoso campo magnético. Después de que el vapor abandona la turbina, es enfriado hasta el estado líquido en un condensador. El líquido recibe un incremento de presión mediante la bomba antes de regresar a la caldera. Los diagramas de la figura 1.3 (Reiner, 1994) demuestran la evolución del fluido, generalmente agua, a lo largo del ciclo de generación de energía eléctrica. Todas las plantas de generación de energía eléctrica se basan en ciclos de Rankine.

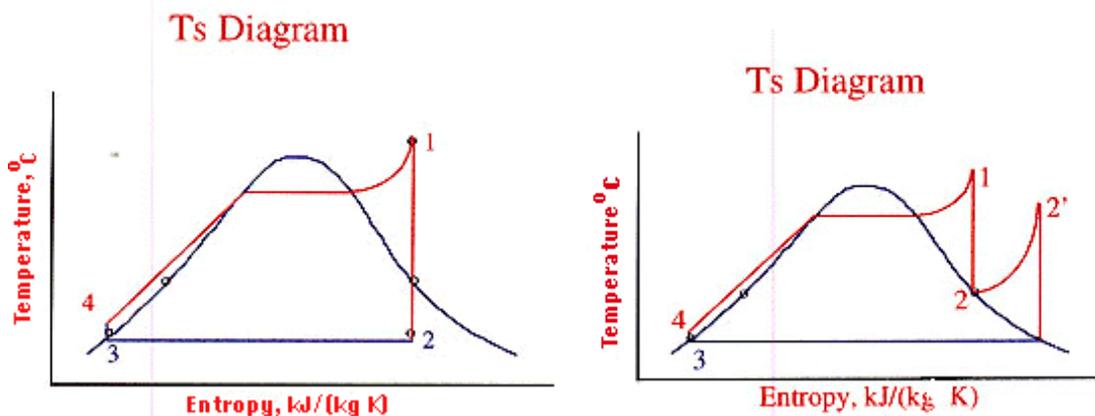


Figura 1.5-1: Diagramas TS para una planta de energía eléctrica con y sin sobrecalentamiento.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

“ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA RESIDUAL EN UNA PLANTA GEOTÉRMICA MEDIANTE UN CICLO RANKINE ORGÁNICO”

ELABORÓ: R.M.B.

FECHA: AGOSTO/2009

HOJA 24 DE 74

Vapor saturado o sobrecalentado se alimenta a la turbina en un estado denominado 1, en donde se expande de forma isoentrópica hasta abandonar el equipo en el estado 2. Este vapor se condensa a presión y temperatura constantes hasta convertirse en líquido saturado, en el estado 3. El calor retirado del vapor por el condensador es generalmente transferido hacia agua de enfriamiento. El líquido saturado fluye a través de una bomba que incrementa la presión del mismo hasta la de la caldera (estado 4), donde el agua es calentada, hervida e incluso sobrecalentada para retornarla al estado 1 a partir del cual se repite todo el ciclo. Esta trayectoria aparece en la figura 1.5-1

Generalmente cuando el vapor abandona la turbina se encuentra húmedo. La presencia de agua provoca erosión en los alabes de la turbina. Para prevenir este problema, el vapor se retira de la turbina (estado 2), y se calienta en otra caldera (estado 2') para enviarse de vuelta a la turbina. Esta trayectoria aparece en el lado derecho de la figura 1.5-1.

Asimismo, se emplean procesos de regeneración para mejorar el desempeño de un ciclo Rankine. Esto se logra mediante el precalentamiento del agua de alimentación para la caldera. La regeneración puede alcanzarse con calentadores abiertos o cerrados.

En los calentadores abiertos, una fracción del vapor que sale de la turbina de alta presión se mezcla con el agua de alimentación a la misma presión. En los sistemas cerrados, la purga de vapor de la turbina no se mezcla directamente con el agua, por lo que ambas corrientes pueden encontrarse a diferente temperatura.

1.6 Ciclo de Brayton

En una planta de energía, el fluido de trabajo es un gas calentado a partir de la combustión de petróleo, carbón o gas natural o mediante una reacción nuclear. En las máquinas térmicas generalmente el calentamiento se produce mediante una combustión. En cualquier caso, el fluido resultante a alta presión se expande a través de la propia turbina. El intercambiador de calor transmite la mayor parte del calor por conducción y convección, aunque algunas pérdidas son inevitables. Otro intercambiador de calor enfría el gas después de que este cruza la turbina. La característica de esta particular máquina térmica radica en el hecho de que funciona en fase gas en todo momento.

En la realidad no se pueden realizar transferencias de trabajo isoentrópicas, por lo que en un ciclo de trabajo real se tienen dos tipos de irreversibilidades. Entropía generada por las diferencias de temperatura en las transferencias de calor, así como trabajo perdido debido a las irreversibilidades en la expansión y en el aumento de presión. Esta situación nos permite comparar las tres opciones y observar los lugares en que se ocasionan las pérdidas energéticas.

La turbina de gas es utilizada para un amplio rango de aplicaciones. Los usos más comunes incluyen plantas de generación de energía y aviones. En un ciclo simple de una turbina de gas, aire a baja presión es llevado a un compresor (estado 1) donde es comprimido hasta alcanzar una presión alta (estado 2). Se añade aquí combustible al aire y se incendia la mezcla en la cámara de combustión. Los productos calientes de la combustión entran a la turbina (estado 3) y se expanden hasta el estado 4. La mayor parte de la potencia producido en la turbina se utiliza para el compresor y el resto se emplea para mover equipo auxiliar.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

“ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA RESIDUAL EN UNA PLANTA GEOTÉRMICA MEDIANTE UN CICLO RANKINE ORGÁNICO”

ELABORÓ: R.M.B.

FECHA: AGOSTO/2009

HOJA 25 DE 74

Los modelos estándar proporcionan resultados cuantitativos útiles para los ciclos de turbina de gas. Para estos modelos se asume que:

- El fluido de trabajo es aire que se comporta como gas ideal a lo largo del ciclo.
- El proceso de combustión es modelado como un calentamiento a presión constante.
- El enfriamiento de los productos después de la expansión se considera como un rechazo de calor a presión constante.

El ciclo de Brayton describe el modelo de un ciclo de potencia de turbina de gas. Éste contempla cuatro pasos los cuales son una compresión isentrópica desde 1 hasta 2; un calentamiento reversible a presión constante desde 2 hasta 3; una expansión isentrópica de 3 a 4 y una eliminación reversible de calor para alcanzar el estado 1 desde el estado 4. Los diagramas Pv y Ts para este tipo de ciclos se presentan a continuación en la figura 1.6-1.

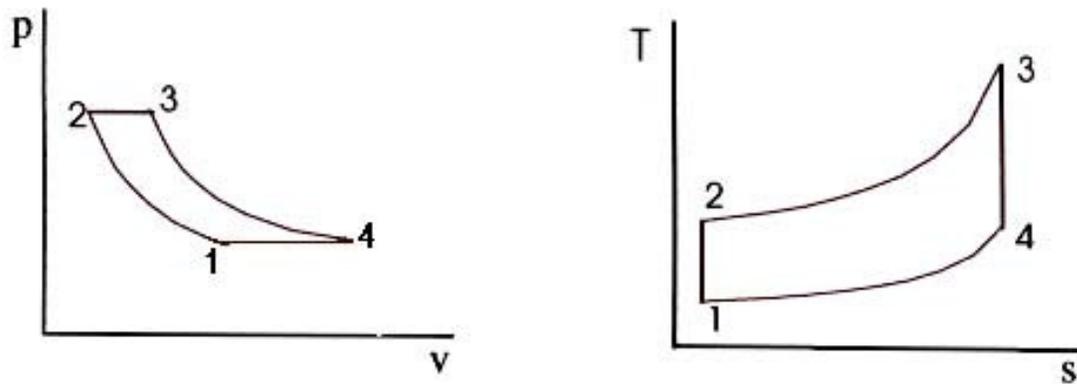


Figura 1.6-1: Diagramas Pv y Ts para un ciclo Brayton.

1.7 Refrigeración

El proceso de refrigeración consiste en retirar calor de una sustancia o espacio de manera tal que se alcance en tal locación una temperatura menor a la temperatura ambiente de los alrededores. La refrigeración puede lograrse utilizando medios termoeléctricos, sistemas de compresión de vapor, expansión de gases comprimidos, etc.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

“ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA RESIDUAL EN UNA PLANTA GEOTÉRMICA MEDIANTE UN CICLO RANKINE ORGÁNICO”

ELABORÓ: R.M.B.

FECHA: AGOSTO/2009

HOJA 26 DE 74

Los sistemas de compresión de vapor se utilizan en la mayor parte de los sistemas de refrigeración. En este caso, el enfriamiento se logra por la evaporación de un líquido refrigerante a condiciones reducidas de presión y temperatura. El fluido entra al compresor en el estado 1 y su temperatura es elevada mediante la compresión mecánica (estado 2). El vapor se condensa a esta presión y el calor resultante se disipa hacia los alrededores. El líquido a alta presión (estado 3) atraviesa entonces a través de una válvula de expansión. El fluido a baja presión entra al evaporador al estado 4 y es evaporado retirando calor del espacio del refrigerador. El ciclo completo se repite.

1.8 Máquinas de Curzon-Ahlborn

Una nueva rama de la termodinámica irreversible, denominada Termodinámica de Tiempos Finitos (TTF) ha sido desarrollada a lo largo de los últimos 25 años. Esta rama se originó gracias al artículo pionero de Curzon y Ahlborn y estudia sistemas que se apartan del equilibrio y sufren procesos irreversibles, considerándolos como redes de subsistemas internamente reversibles que intercambian energía entre ellos y con el ambiente a través de procesos irreversibles. Quizá el más sencillo de estos sistemas es la máquina de Curzon-Ahlborn-Novicov.

Este sistema consiste en una máquina de Carnot la cual intercambia calor con los baños térmicos de temperaturas TC y TF a través de conductores térmicos gobernados por la Ley de transferencia de calor lineal de Newton. Esta máquina tiene una potencia de salida diferente de cero, una producción de entropía positiva y una eficiencia más real (en términos de TC y TF) que la que tiene la máquina de Carnot. La eficiencia de la máquina de Curzon-Ahlborn trabajando en el régimen de máxima potencia esta dada por la ecuación 1.7-1, cuyo valor es comparable con la eficiencia de varias plantas de potencia. Se puede decir que esta máquina es una aproximación mucho mejor a las máquinas térmicas reales.

$$\eta = 1 - \frac{T_f}{T_c} \quad (1.8-1)$$

1.9 Función Ecológica

En el contexto de la Termodinámica de tiempos Finitos se ha definido una gran gama de criterios de optimización, de acuerdo a las características peculiares de los procesos termodinámicos que se estén analizando, en la mayoría de los casos estos criterios se desprenden de funciones diseñadas para caracterizar el proceso por lo que corresponden a los principios termodinámicos fundamentales, tales como conversión de calor en trabajo, generación de entropía, relaciones de compresión, etc. A pesar de todo, existe un subconjunto de criterios de optimización, asociados a otras funciones que no parten con claridad de los principios fundamentales. Este es el caso de la función ecológica y el criterio de optimización asociado a ella, ya que este se define para lograr un compromiso apropiado entre la potencia de salida y la disipación en un proceso termodinámico, mediante la maximización de la función:

$$E = \dot{W} - T_0 S_{GEN} \quad (1.9-1)$$



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

“ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA RESIDUAL EN UNA PLANTA GEOTÉRMICA MEDIANTE UN CICLO RANKINE ORGÁNICO”

ELABORÓ: R.M.B.

FECHA: AGOSTO/2009

HOJA 27 DE 74

en donde W es la potencia de salida de la máquina, T_0 es la temperatura del medio ambiente y $SGEN$ su producción de entropía por unidad de tiempo, a esta expresión se le denomina función ecológica por perseguir tal objetivo.

1.10 Ciclo Rankine Orgánico.

El Ciclo Orgánico de Rankine (ORC) es un proceso favorable para la producción de energía a partir de baja a media temperatura de fuentes de calor. El principio de funcionamiento de un ORC es similar al proceso más utilizado para la generación de energía, el ciclo Rankine de Clausius.

El uso de un fluido orgánico con el ciclo Rankine a baja temperatura tiene muchas ventajas sobre el uso de agua. Sin embargo, cabe señalar que la eficiencia del ciclo Rankine orgánico para los fluidos utilizados es un poco diferente a la de agua / vapor entre los mismos dos partes superior e inferior del ciclo de temperaturas. De hecho, el ciclo de la eficacia es a menudo un poco menor para los fluidos orgánicos. La atracción de la termodinámica en un fluido orgánico es que es capaz de extraer más calor de la fuente geotérmica caliente que el agua. Esto es principalmente una consecuencia de que los fluidos orgánicos tengan una menor proporción de calor latente de vaporización (a estas temperaturas de ebullición más bajas) frente a la capacidad térmica específica del agua. Como consecuencia de ello, a pesar de que el ciclo de la eficiencia es de aproximadamente el mismo valor en los dos casos, la eficiencia global, que es proporcional a la energía eléctrica generada, es considerablemente mayor para los fluidos orgánicos. La eficiencia global es, por definición, el rango de eficiencia de energía térmica que se extrae a las centrales térmicas disponibles de la fuente caliente. La disposición de energía térmica se calcula mediante una temperatura arbitraria de 10°C más alta que la temperatura en el fondo del ciclo.

La temperatura de operación está entre 70°C y 300°C . Debido a las propiedades físicas del fluido orgánico, la expansión del vapor saturado no conduce a la zona de vapor húmedo, sino que queda en la zona de vapor sobrecalentado.

Para incrementar la eficiencia puede utilizarse un regenerador entre la turbina y el condensador para precalentar el aceite orgánico. Además, puede utilizarse un economizador para recuperar el calor de los gases de escape de la caldera o manejar el vapor saturado saliente de la turbina en contracorriente con el líquido de alimentación al recuperador de calor para de esta manera lograr un mayor aprovechamiento de la energía sin la necesidad de utilizar un condensador convencional.

Puesto que no se requiere una caldera de vapor, los costes de inversión y mantenimiento son considerablemente menores que en plantas de vapor. Otra ventaja frente a las turbinas de vapor convencionales es la posibilidad de operar a cargas parciales en un rango entre el 30% y el 100% de plena carga. Los ORC son bien conocidos para aplicaciones geotérmicas.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

“ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA RESIDUAL EN UNA PLANTA GEOTÉRMICA MEDIANTE UN CICLO RANKINE ORGÁNICO”

ELABORÓ: R.M.B.

FECHA: AGOSTO/2009

HOJA 28 DE 74

CAPITULO 2

DISEÑO DEL SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CALOR EN UNIDAD GEOTÉRMICA



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

“ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA RESIDUAL EN UNA PLANTA GEOTÉRMICA MEDIANTE UN CICLO RANKINE ORGÁNICO”

ELABORÓ: R.M.B.

FECHA: AGOSTO/2009

HOJA 29 DE 74

2.1 Antecedentes.

Actualmente la planta geotérmica “Cerro prieto” ubicada en el municipio de Mexicali, Baja California Norte, en el valle de Mexicali, a una altura de 11 metros sobre el nivel medio del mar, lugar donde se encuentra el campo geotérmico de Cerro Prieto.

La tecnología denominada geotermoeléctrica, para generar energía eléctrica aprovecha el calor contenido en el agua que se ha concentrado en ciertos sitios del subsuelo conocidos como yacimientos geotérmicos, y se basa en el principio de la transformación de energía calorífica en energía eléctrica, con principios análogos a los de una termoeléctrica tipo vapor, excepto en la producción de vapor, que en este caso se extrae del subsuelo, por medio de pozos que extraen una mezcla agua-vapor que se envía a un separador; el vapor ya seco se dirige a las aspas de una turbina, donde se transforma la energía cinética en mecánica y ésta, a su vez, se transforma en electricidad en el generador eléctrico.

Dado que esta Central utiliza vapor geotérmico para su operación, se logran considerables ahorros por concepto de gasto de combustible.

En las instalaciones de esta Central se cuenta con trece unidades generadoras y está dividida en cuatro casas de máquinas, denominadas: Cerro Prieto I, Cerro Prieto II, Cerro Prieto III y Cerro Prieto IV. La capacidad total instalada es de 720 MW.

No obstante la compañía federal de electricidad CFE ha sacado a licitación internacional el proyecto Cerro prieto V para expandir con 100 MW. de capacidad a el campo geotérmico Cerro Prieto hasta 820 MW.

Cabe mencionar que todos los condensados provenientes del separador no son utilizados y son considerados deshechos del proceso principal de generación, dichos condensados son enviados a la laguna de secado para extraer las sales ricas en litio, magnesio, potasio y sodio.

El siguiente proyecto basado en la recuperación de energía de desperdicio y generación de electricidad por medio de un ciclo orgánico Rankine podría tener la capacidad de encausar las tendencias de generación eléctrica para la nueva configuración en la capacidad de generación.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

“ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA RESIDUAL EN UNA PLANTA GEOTÉRMICA MEDIANTE UN CICLO RANKINE ORGÁNICO”

ELABORÓ: R.M.B.

FECHA: AGOSTO/2009

HOJA 30 DE 74

2.2 Ubicación de la planta geotermoeléctrica

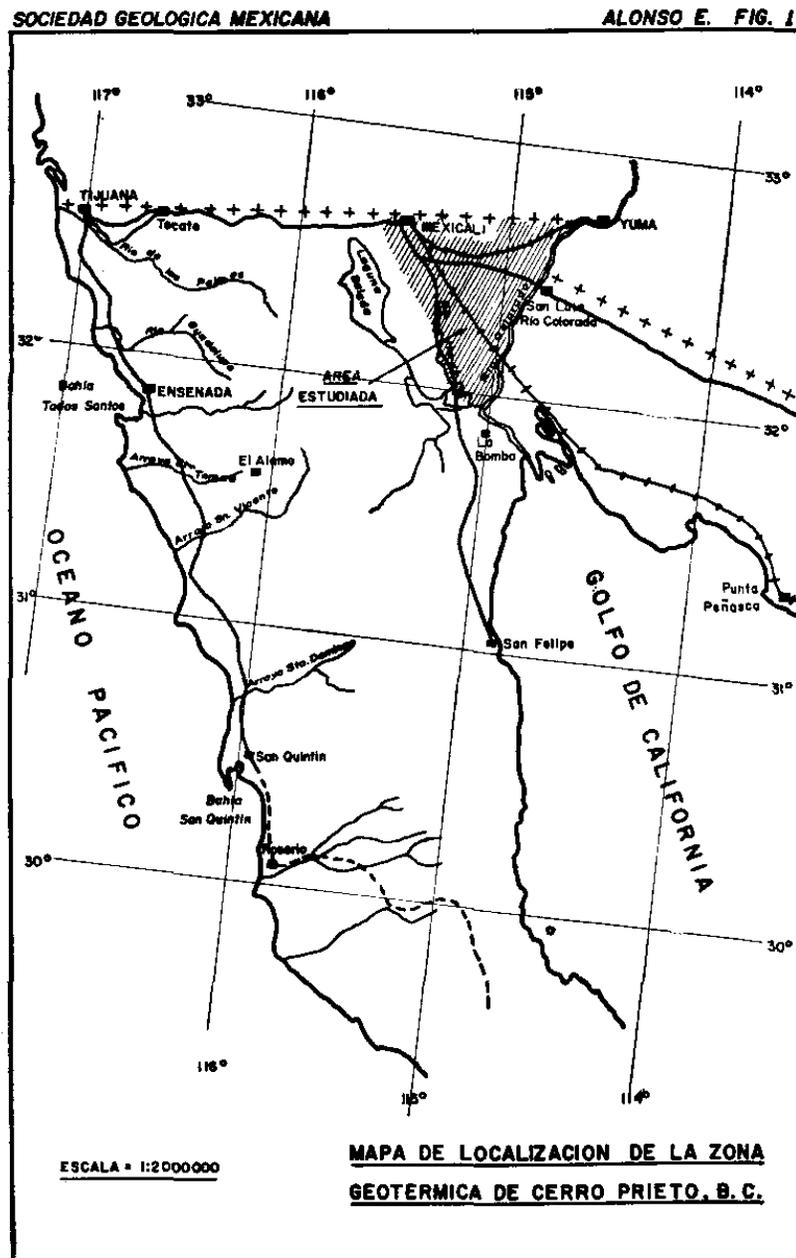


Fig. 2.1 Ubicación de la planta geotermoeléctrica cerro prieto



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

“ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA RESIDUAL EN UNA PLANTA GEOTÉRMICA MEDIANTE UN CICLO RANKINE ORGÁNICO”

ELABORÓ: R.M.B.

FECHA: AGOSTO/2009

HOJA 31 DE 74

2.3 Condiciones ambientales

Sitio:	Planta geotérmica Cerro prieto
Localización geográfica:	Mexicali, Baja California Norte
Altura sobre el nivel del mar	11 msnm
Presión atmosférica:	760.00 mmHg 1.01 Bar
Temperatura anual media:	24.2°C
Temperatura anual máxima media:	31.7°C
Temperatura anual mínima media:	15.9°C
Humedad media anual:	48.40%
Precipitación total acumulada anual:	0.00 mm
Velocidad del viento	11.6 Km/hr

2.4 Descripción del proceso

En la planta geotérmica, el agua proveniente de los pozos se lleva a una primera separación flash, la cual se lleva a cabo en la saliente de cada pozo para separar el vapor aún con media presión y transportarlo a los generadores. Por otro lado, el condensado de los fondos de esta separación es un flujo muy grande del orden de 1,500 Ton/hr el cual está en las siguientes condiciones de temperatura y presión: 160°C y 4 Bar(a) respectivamente, condiciones que son aprovechables energéticamente. Dicho condensado actualmente se manda a una laguna de secado solar, dejando sin aprovechamiento la energía calorífica residual del fluido.

El condensado proveniente de los pozos contiene una alta concentración de sales disueltas, lo cual representa un problema en cuanto a la utilización del calor residual, dado que si la temperatura disminuye, la solubilidad de las sales disminuirá. Esto provocará decantación de sólidos en el fluido y por ende incrustación en las tuberías que la transportan y equipos que lo manejen; sin embargo la utilización del mayor rango de temperaturas es sustancial para una eficiente recuperación de energía.

Para utilizar la energía calorífica del efluente en el primer paso se lleva al tren de separación ciclónica FA-101 A/B/C el flujo se dividirá en tres partes iguales dado que el flujo de 1,500 Ton/hr es muy grande para ser manejado eficientemente en un solo equipo. El agua salada ingresa al tren de separadores a 160°C y 4 Bar(a). En los separadores ciclónicos se separará una cantidad de vapor de 71,405 kg/hr a 2 Bar(a) y 120°C. Éste será llevado hasta los sobrecalentadores de amoniaco EA-101 A,B,C. Donde el vapor cederá todo su calor hasta condensarse para posteriormente mezclarse con



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

“ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA RESIDUAL EN UNA PLANTA GEOTÉRMICA MEDIANTE UN CICLO RANKINE ORGÁNICO”

ELABORÓ: R.M.B.

FECHA: AGOSTO/2009

HOJA 32 DE 74

los fondos del separador flash (los cuales llevan todas las sales en mayor concentración) y así serán dirigidos hasta la laguna de secado solar donde originalmente eran almacenados los condensados, para de esta forma aprovechar las sales producto del secado de las aguas.

El sistema de cogeneración por medio de un ciclo Rankine orgánico es un ciclo cerrado de amoníaco, donde una corriente de 948,056 kg/hr de vapor sobrecalentado de amoníaco a 30 Bar(a) y 120 °C entra a las turbinas de contrapresión GB-100 A/B/C conectadas en paralelo para producir una carga total de 42.47 MW. Y estas a su vez conectadas a los generadores GE-100 A/B/C.

El vapor exhausto de amoníaco sale de las turbinas a 10 Bar(a) y 35°C para entrar en los condensadores-evaporadores EA-100 A/B/C donde se condensa el amoníaco exhausto saliente de las turbinas y en contracorriente se evapora el amoníaco proveniente de las bombas GA-A/B/C/R el cual se encuentra a 30 Bar(a) y 35°C.

El amoníaco en estado de saturación posteriormente se introduce en los separadores bifásicos FA-102 A/B/C para separar por completo los vapores restantes de amoníaco. Posteriormente éstos serán condensados en los intercambiadores EA-102 A/B/C por medio de agua de enfriamiento. Posterior a ello, el amoníaco ya en estado líquido se combina con el amoníaco del fondo de los separadores FA-A/B/C para ser transportado por las bombas GA-A/B/C/R las cuales manejaran un flujo de 538 m³/hr y una presión de descarga de 35 Bar(a) cada una.

El amoníaco bombeado pasará a través de los condensadores-evaporadores EA-100 A/B/C donde pasará a vapor saturado para posteriormente sobrecalentarse en los cambiadores de calor EA-101 A/B/C donde el vapor de agua proveniente del separador FA-101 A/B/C. repitiéndose el ciclo.

La descripción de proceso se hizo de acuerdo a los balances de materia y energía para los sistemas Rankine orgánicos. (UN-MC-001) los cuales se verán en el capítulo 2.6, y se encuentra gráficamente representado en el diagrama de flujo de proceso (MONT-01-DF-001) a continuación.



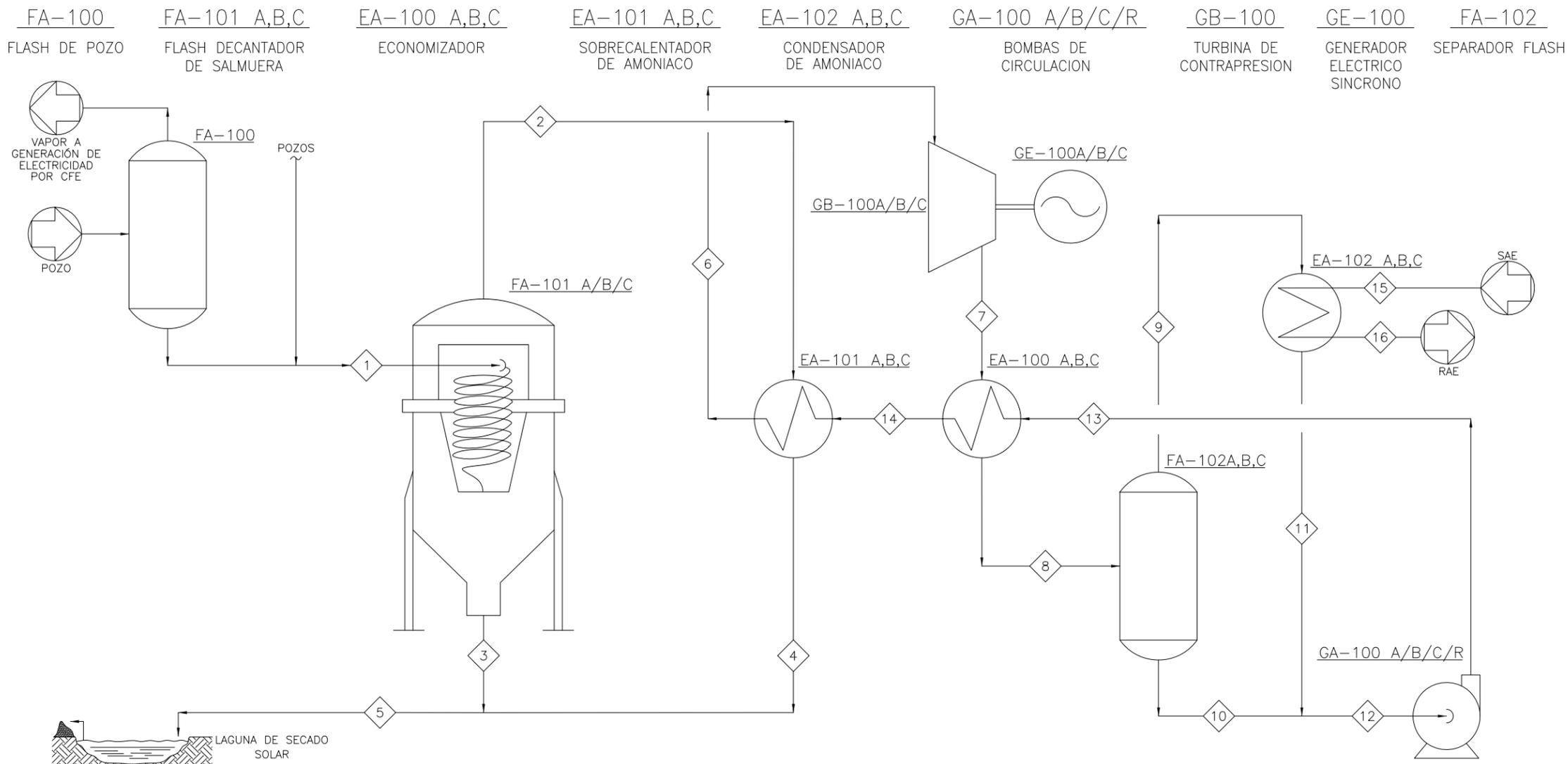
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

“ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA RESIDUAL EN UNA PLANTA GEOTÉRMICA MEDIANTE UN CICLO RANKINE ORGÁNICO”

ELABORÓ: R.M.B.

FECHA: AGOSTO/2009

HOJA 33 DE 74



NOTAS:
1.-

SIMBOLOGIA:

- ENTRADA O SALIDA
- IDENTIFICACION DE CORRIENTE
- LIMITE DE BATERIA
- SALMUERA
- VAPOR Y CONDENSADOS
- AMONIACO
- AGUA DE ENFRIAMIENTO

CONCEPTO	UNIDADES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
FLUIDO		AGUA SALINA	VAPOR DE AGUA	AGUA SALINA	AGUA CONDENSADA	AGUA SALINA	NH3 SOBRE CALENTADO	NH3 EXHAUSTO	NH3 SATURADO	NH3 SEPARADO	NH3 CONDENSADO	NH3 CONDENSADO	NH3 CONDENSADO	NH3 ALTA PRESION	NH3 ALTA PRESION	AGUA DE ENFTO	AGUA DE ENFTO	
ESTADO		LIQ	GAS	LIQ	LIQ	LIQ	GAS	GAS	LIQ-GAS	GAS	LIQ	LIQ	LIQ	LIQ	VAP	LIQ	LIQ	
W	kg/h	150000	71405.27	1428595	71405.2663	1500000	948056.01	948056	948056	94805.6	853250.405	94805.6006	948056.006	948056	948056	1780889	1780889	
	lb/h	3306930	157421.5	3149509	157421.478	3306930	2090103.2	2090103	2090103	209010.3	1881092.91	209010.323	2090103.23	2090103	2090103	3926183	3926183	
P	bara	4	2	2	1.3	1.3	30	10	10	10	10	10	10	30	30	3	3	
	PSIA	58.01508	29.00754	29.00754	18.854901	18.8549	435.1131	145.0377	145.0377	145.0377	145.0377	145.0377	145.0377	435.1131	435.1131	43.51131	43.51131	
T	°C	160	120.2115	120.2115	107.109453	107.1095	120	35	35	35	35	35	35	35	35	10	25	
	°F	320	248.3808	248.3808	224.797015	224.797	248	95	95	95	95	95	95	95	95	50	77	
ρ	kg/m³	922.8847	1.129015	942.9351	953.135726	953.1357	17.034	7.38	587.4	7.38	587.4	587.4	587.4	587.4	587.4	13.4	931.8132	931.8132
	lb/ft³	57.61381	0.070482	58.86551	59.502319	59.50232	1.0633979	0.460718	36.67018	0.460718	36.6701837	36.6701837	36.6701837	36.67018	0.836535	58.1712	58.1712	
H	kJ/kg	604.7235	2706.241	504.6838	449.131616	449.1316	1680	1510	330	1510	330	330	330	330	1510	42.02109	104.8384	
	Btu/lb	259.9799	1163.455	216.9713	193.08858	193.0886	722.2578	649.1722	141.8721	649.1722	141.872069	141.872069	141.872069	141.8721	649.1722	18.06551	45.07163	
Q	m³/h	1625.338	63245.62	1515.051	74.9161577	1573.753	55656.687	128462.9	1613.987	12846.29	1452.58836	161.398707	1613.98707	1613.987	70750.45	1911.208	1911.208	
	GPM	7156.15	278462.1	6670.57	329.845953	6929.026	245049.05	565605.1	7106.172	56560.51	6395.55483	710.617203	7106.17203	7106.172	311504.9	8414.795	8414.795	
μ	cp	0.014439	0.012963	0.231591	0.26200733	0.262007	0.001	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	1.305658	0.890036	

REVISIONES				DIBUJOS DE REFERENCIA		
No.	DESCRIPCION	FECHA	POR	Vo.Bo.	No.	DESCRIPCION
A	PARA REVISION Y/O COMENTARIOS	04/03/2009	R.M.B.	D.O.B.		

DIBUJO:	R. MONTEJANO
PROYECTO:	R. MONTEJANO
REVISO:	D. ORTIZ
APRBO:	-----
COORD.	-----
DIBUJO ELABORADO EN:	MEXICO D.F.
FECHA:	MARZO/2009
ESC:	S/E.
ACOT.:	----



APROBADO POR:	
ING.	-----
FECHA:	-----
ING.	-----
FECHA:	-----
ING.	-----
FECHA:	-----

"RECUPERACIÓN DE ENERGÍA RESIDUAL EN UNA PLANTA GEOTÉRMICA MEDIANTE UN CICLO RANKINE ORGANICO"
 TITULO:
2.5 DIAGRAMA GENERAL DE FLUJO DE PROCESO
 PROY. No.: MONT-001 PLANO No.: MONT-01-DF-001 REV.
 LUGAR: CERRO PRIETO, BAJA CALIFORNIA NORTE HOJA 34 DE 74 A

2.6 Balance de materia y energía.

El objetivo del presente balance de materia y energía para el sistema de cogeneración propuesto a partir de un ciclo Rankine orgánico para la recuperación de calor de desperdicio de una planta geotérmica es evaluar el potencial calorífico que es capaz de otorgar el efluente de desperdicio de la geotérmica con el propósito de tener un mayor aprovechamiento del calor y menores costos operativos con una mayor eficiencia de producción de energía eléctrica

Con el balance de materia y energía a las condiciones descritas, se tendrán las consideraciones máximas para el dimensionamiento de tubería, equipo y selección de instrumentos a instalarse en el sistema.

El alcance del balance de materia y energía es el siguiente:

- Balance general de materia y energía para 1,500 Ton/hr de efluente de desperdicio
- Dimensionamiento de líneas y equipo principales.

En caso de que las líneas y el equipo principal resultasen muy grandes para ser manejado en un solo equipo, se dividirá el flujo para tener equipos en paralelo y se rehará el BME para este nuevo caso.

El balance de materia y energía comienza postulando una presión a la que se desea que el flash separe el vapor. Ya que la corriente de condensado entra a solo 4 Bar(a) y se desea obtener la mayor cantidad de energía del vapor separado. Se propuso una separación flash a 2 Bar(a) de presión.

La evaporación flash de un solo componente es un proceso isoentálpico. Se considera este equipo como un flash adiabático, por lo cual la siguiente ecuación es aplicable para el proceso de separación flash.

$$X = \frac{(H_{ls} - H_{lf})}{(H_{vf} - H_{ls})} \times 100$$

Donde:

X	Porcentaje en peso vaporizado	[=]	Adim.
H _{ls}	Entalpia del líquido a la presión superior	[=]	kJ/kg
H _{lf}	Entalpia del líquido a la presión de flasheo	[=]	kJ/kg
H _{vf}	Entalpia del vapor a la presión de flasheo	[=]	kJ/kg



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

“ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA RESIDUAL EN UNA PLANTA GEOTÉRMICA MEDIANTE UN CICLO RANKINE ORGÁNICO”

ELABORÓ: R.M.B.

FECHA: AGOSTO/2009

HOJA 35 DE 74

Sustituyendo en la ecuación anterior:

$$X = \frac{(604.72 \text{ kJ / kg} - 504.68 \text{ kJ / kg})}{(2706.24 \text{ kJ / kg} - 604.72 \text{ kJ / kg})} \cdot 100$$

X = 4.76 % de la masa total que ingresa al separador flash

Multiplícalo por la masa total

(0.04736) * (1,500,000 kg/hr) = 71,405.27 kg/hr de vapor separado.

Posteriormente se analizaron los diferentes fluidos orgánicos que pudieran ser utilizados para el ciclo Rankine orgánico de este proceso en particular, entre ellos el propano, butano, amoniaco, freones, etc. Siendo el más adecuado por sus propiedades termofísicas el amoniaco, dado que a temperaturas relativamente bajas el cambio de fase a vapor y el sobrecalentamiento del mismo es alcanzable, además de no requerir muy bajas temperaturas para su posterior condensación.

A continuación el diagrama presión-entalpia del amoniaco (refrigerante 717)

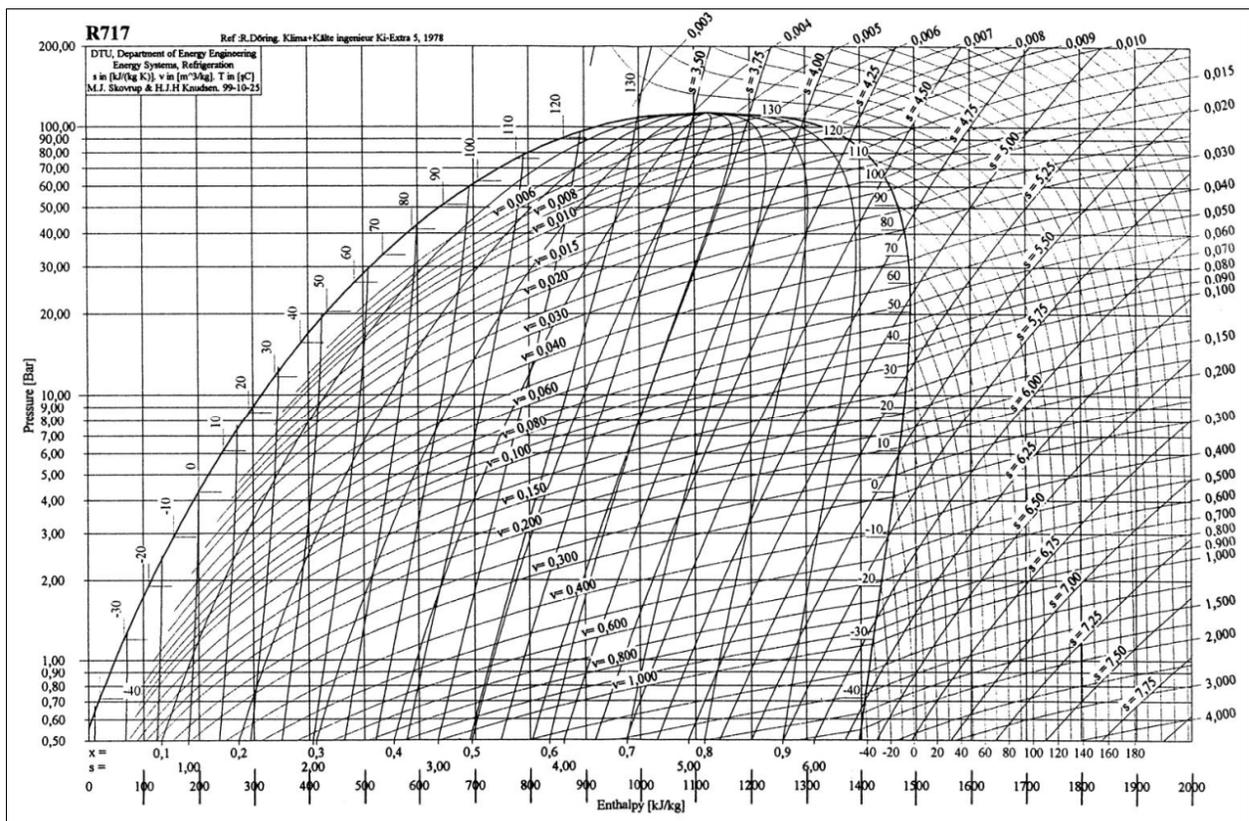


Fig. 2.2 Diagrama H-P para el refrigerante 717



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

“ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA RESIDUAL EN UNA PLANTA GEOTÉRMICA MEDIANTE UN CICLO RANKINE ORGÁNICO”

ELABORÓ: R.M.B.

FECHA: AGOSTO/2009

HOJA 36 DE 74

El siguiente paso es calcular la cantidad de energía que es capaz de ceder el vapor de agua durante la condensación a las condiciones postuladas anteriormente: 2 Bar(a) y temperatura de saturación.

La ecuación aplicable para el cálculo de la cantidad de calor ante cambio de fase es:

$$Q = m\Delta H$$

Donde:

Q	Cantidad de calor intercambiado	[=]	kJ/hr
m	Flujo másico del fluido	[=]	kgv/hr
ΔH	Cambio de entalpías	[=]	kJ/kg

Sustituyendo en la ecuación anterior:

$$Q = (2706.24\text{kJ/kg} - 449.13\text{kJ/kg}) * 71405.27\text{kg/hr} = 161,169,521 \text{ kJ/hr}$$

A continuación de forma iterativa se calculan las condiciones óptimas a las que se deberá de llevar el amoniaco a la entrada y salida de la turbina, ya que se conoce cuál es la máxima cantidad de energía de la cual se dispone, además se tienen algunas restricciones las cuales son:

-La máxima temperatura a la que se puede llevar el amoniaco ya sobrecalentado será la temperatura a la que se encuentra el vapor saturado de agua durante la condensación (120° C)

-La temperatura de condensación del amoniaco exhausto no debe ser menor a la temperatura ambiente promedio, esto con el propósito de evitar que haya una transferencia de calor indeseable hacia el medio ambiente.

-La presión del amoniaco exhausto no debe de ser pequeña para evitar problemas de cavitación en las bombas de recirculación.

Tomando en cuenta las restricciones anteriores se utilizaron las siguientes condiciones:

Alimentación al turbogenerador: 30 Bar(a) de presión y 120 °C de temperatura.

Salida del amoniaco exhausto del turbogenerador: 10 Bar(a) de presión y 35 °C de temperatura

Con las condiciones anteriores se sabe que la bomba descargara a 30 Bar(a) de presión y 35 °C de temperatura, las cuales son las condiciones de entrada al intercambiador de calor, también se sabe que las condiciones de salida del intercambiador de calor son a 30 Bar(a) de presión y 120 °C.

Para conocer el flujo másico del amoniaco a ser manejado en el circuito se igualan calores entre el de condensación del vapor y el del calentamiento del fluido orgánico, por lo tanto: $Q_1 = Q_2$.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

“ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA RESIDUAL EN UNA PLANTA GEOTÉRMICA MEDIANTE UN CICLO RANKINE ORGÁNICO”

ELABORÓ: R.M.B.

FECHA: AGOSTO/2009

HOJA 37 DE 74

O sea:

$$m_{Organico} \Delta H_{Organico} = m_{Vapor} \Delta H_{Condensación}$$

Despejando el flujo del fluido orgánico:

$$m_{Organico} = \frac{m_{Vapor} (h_{Vapor} - h_{Condensado})}{(h_{Organico2} - h_{Organico1})}$$

Sustituyendo en la ecuación anterior:

$$m_{Organico} = \frac{(2706.24kJ / kg - 449.13kJ / kg)(71405.25kg / hr)}{(1680kJ / kg - 1510kJ / kg)}$$

Flujo másico del amoniaco = 948,056.01 kg/hr

Ya que se conoce el flujo de amoniaco y las condiciones de alimentación y salida del turbogenerador, es posible conocer la cantidad de trabajo que será capaz de generar el turbo generador.

Con la siguiente ecuación se define la cantidad de trabajo:

$$MW = \frac{m_{1A} (h_{1A} - h_{2A})}{(3600 \times 1000)} \times \eta_{TURBINA}$$

Donde:

MW	Cantidad de energía producida en e turbogenerador	[=]	MW
m_{1A}	Cantidad de vapor sobrecalentado de entrada a la turbina	[=]	kg/h
h_{1A}	Entalpia de vapor de entrada @ P y T	[=]	kJ/kg
h_{2A}	Entalpia de vapor salida @ P y T	[=]	kJ/kg
η	Eficiencia isoentropica de la turbina	[=]	Adim.

Sustituyendo en la ecuación anterior:

$$MW = \frac{948056.01kg / hr(1680kJ / kg - 1510kJ / kg)}{(3600 \times 1000)} \times 0.9$$

Potencia = 42.47 MW



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

“ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA RESIDUAL EN UNA PLANTA GEOTÉRMICA MEDIANTE UN CICLO RANKINE ORGÁNICO”

ELABORÓ: R.M.B.

FECHA: AGOSTO/2009

HOJA 38 DE 74

Todos los balances posteriores como son los cambiadores de calor se encuentran en el anexo A1 el cual corresponde al balance de materia y energía original elaborado en hojas de cálculo de Excel.

Dado que las dimensiones de los equipos y tuberías resultaron ser muy grandes y ya que este tipo de turbinas de contrapresión para fluidos orgánicos no rebasan actualmente en el mercado los 15 MW de potencia se decidió dividir el flujo en tres partes iguales para tener de esta forma tres trenes que trabajen en paralelo generando cada uno 14.16 MW.

El balance de materia y energía para cada tren de generación, así como el dimensionamiento de líneas y aislamientos se encuentra también en el anexo A1.

Para el dimensionamiento del espesor de aislamiento se siguió la Norma Oficial Mexicana NOM-009-ENER-1995 "Eficiencia energética en aislamientos térmicos industriales." Con la cual se siguieron tanto los modelos matemáticos para su dimensionamiento óptimo como las tablas de Máxima Transferencia de Calor Permisible con Aislamiento Térmico en Sistemas a Alta Temperatura, siempre con la restricción de no rebasar los valores de la tabla aquí mostrada.

DIAMETRO NOMINAL (mm)	TEMPERATURA DE OPERACION EN K (°C)															
	HAST A 333 (60)	HAST A 373 (100)	HAST A 423 (150)	HAST A 473 (200)	HAST A 523 (250)	HAST A 573 (300)	HAST A 623 (350)	HAST A 673 (400)	HAST A 723 (450)	HAST A 773 (500)	HAST A 823 (550)	HAST A 873 (600)	HAST A 923 (650)	HAST A 973 (700)	HAST A 1023 (750)	HAST A 1088 (815)
13	6	12	19	29	37	49	66	75	88	97	111	125	141	157	174	196
19	7	13	21	32	41	50	68	82	96	105	121	136	153	171	189	203
25	8	15	24	36	46	56	75	90	101	116	133	142	160	178	197	223
38	10	18	29	40	50	67	85	101	119	130	148	168	188	210	232	251
51	12	21	33	45	57	70	95	113	119	138	157	178	200	223	247	267
64	13	24	37	50	63	77	104	116	130	150	172	194	218	243	269	290
76	16	26	43	57	72	87	109	131	145	168	192	207	232	260	287	324
102	19	28	44	60	77	102	119	143	167	194	210	238	267	298	329	339
127	17	30	54	70	84	101	126	153	170	202	214	253	279	316	353	382
152	20	34	58	79	95	114	134	162	174	211	239	266	310	351	393	424
203	33	43	65	94	104	138	161	171	208	234	267	315	349	396	442	478
254	40	51	77	100	123	148	174	200	243	276	311	347	405	446	488	552
305	47	59	89	115	141	169	198	227	276	293	351	391	433	491	549	593
356	51	64	96	125	152	182	213	244	291	314	355	419	463	525	587	633
406	58	72	108	140	169	203	237	271	306	347	392	438	511	553	596	696
457	57	80	120	154	187	224	260	298	336	380	429	479	530	591	651	704
508	63	88	132	169	205	245	284	324	365	388	465	519	574	651	727	762
559	69	97	143	184	222	265	273	315	395	407	502	559	618	700	783	841
610	75	105	155	199	240	251	295	339	424	449	494	553	661	750	838	900
660	82	113	167	214	223	270	325	374	454	479	528	590	705	767	829	894
711	88	121	179	229	238	296	346	398	438	510	575	642	694	790	880	948
762	94	129	190	243	261	314	368	422	466	540	609	679	736	844	951	1025
S.P.	37	49	70	88	91	107	123	126	153	157	175	192	224	240	265	282

El material elegido como aislante para las líneas del proceso que así lo requirieran fue la fibra de vidrio (FRP). Los diámetros en que se fabrican las dos medias cañas son desde 12.7 mm (½") hasta 254 mm (12"), con espesores que varían de acuerdo al rango de temperatura a aislar desde 25.4 mm (1").



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

“ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA RESIDUAL EN UNA PLANTA GEOTÉRMICA MEDIANTE UN CICLO RANKINE ORGÁNICO”

ELABORÓ: R.M.B.

FECHA: AGOSTO/2009

HOJA 39 DE 74

PROPIEDADES DE LA FIBRA DE VIDRIO

Conductividad Térmica: $K=0.61 \text{ Btu/Hr-ft}^2 \text{ }^\circ\text{F}$

Límite de Temperatura: $650^\circ \text{C} - 1200^\circ \text{F}$

Densidad: $14-16 \text{ lb/ft}^3$

Norma que cumple: ASTMC-610-67

Asbesto: No contiene

El dimensionamiento de equipo se encuentra anexo a este documento también en su forma original elaborados en Excel.

2.7 Diagramas de tuberías e instrumentación.

Con las dimensiones de equipos, tuberías principales y aislamientos ya conocidas, además de un sistema básico de control plasmado gráficamente en el diagrama de flujo de proceso (MONT-01-DF-001), se procedió a la elaboración de los diagramas de tuberías e instrumentación (DTI), primeramente verificando la especificación para el material y tipo de tubería adecuado para el transporte de cada fluido.

ESPEC.	TAMAÑO	CLASE	COND. DE DIS.		SERVICIO	DESIGNACIÓN DEL SERVICIO	MATERIAL	CORROSIÓN PERMISIBLE
			PRES. Bar	TEMP. $^\circ\text{C}$				
1S1	½"-24"	CL 150	17.92	280	VAPOR DE BAJA PRESIÓN.	LS	AC. AL CARBÓN.	1.5mm
					CONDENSADO DE BAJA PRESIÓN.	LC		
1S2	½"-24"	CL 150	17.23	180	AGUA HELADA	CW	AC. AL CARBÓN	1.27mm
1S3	2"-16"	CL 150	13.78	180	AMONIACO	OF	AC. AL CARBÓN	1.27mm
1S4	½"-24"	CL 150	19.65	280	DESFOGUE DE AMONIACO	DE	AC. AL CARBÓN	1.27mm

*Las especificaciones de material de tuberías y accesorio no se incluye completa dado que no son necesarias durante este nivel de diseño.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

“ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA RESIDUAL EN UNA PLANTA GEOTÉRMICA MEDIANTE UN CICLO RANKINE ORGÁNICO”

ELABORÓ: R.M.B.

FECHA: AGOSTO/2009

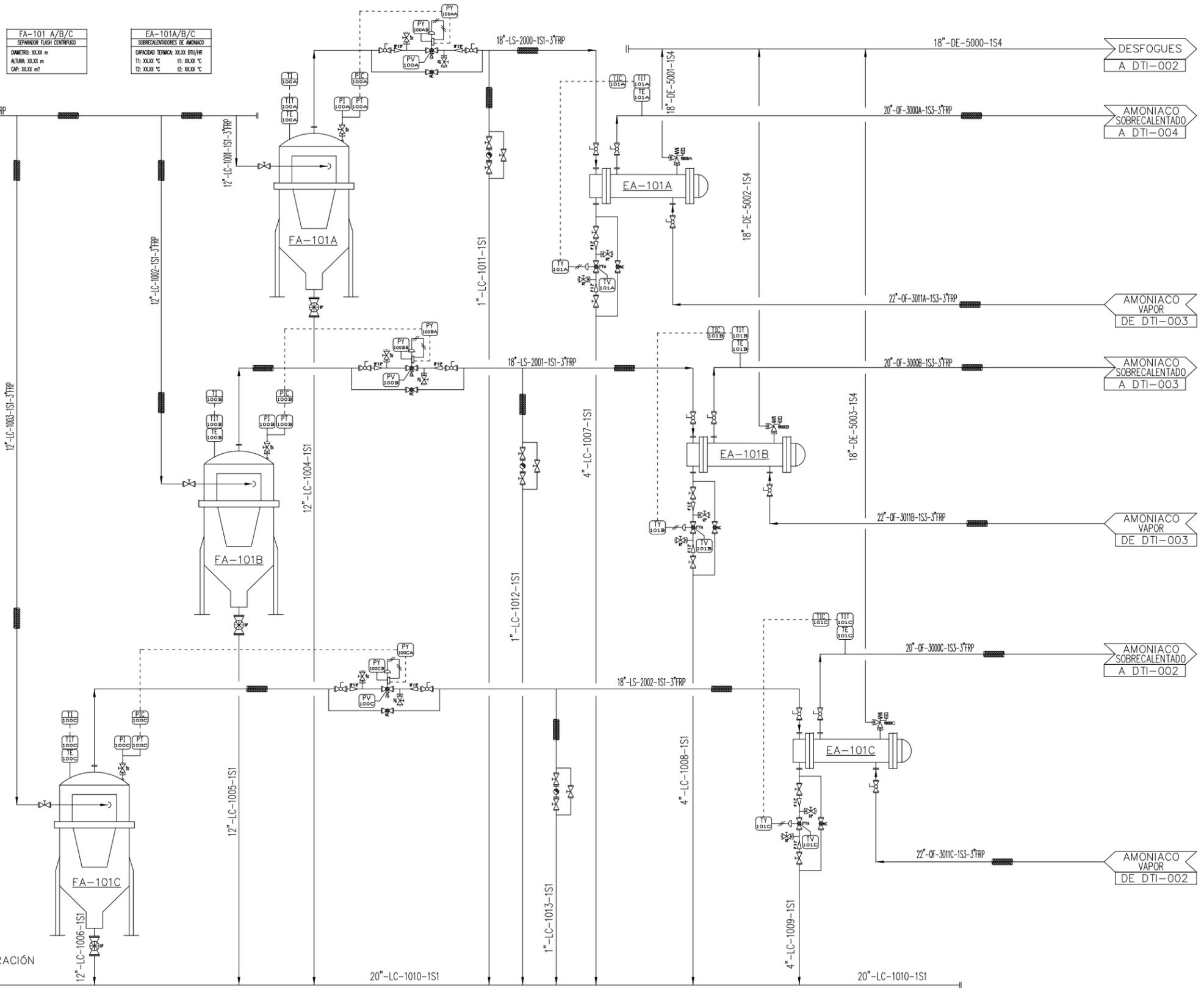
HOJA 40 DE 74

CONDENSADO DE SEPARACIÓN FLASH EN POZOS

FA-101 A/B/C
SEPARADOR FLASH CENTRIFUGO
DIAMETRO: XX.XX m
ALTEZA: XX.XX m
CAP: XX.XX m³

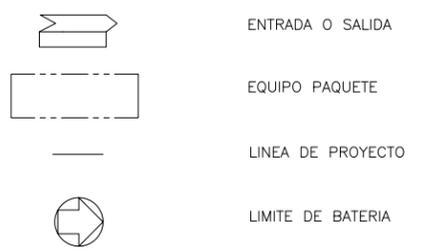
EA-101A/B/C
SOBRECALENTADORES DE AMONÍACO
OPCIÓN TÉCNICA XX.XX #1U/R
T1: XX.XX °C T2: XX.XX °C
T3: XX.XX °C T4: XX.XX °C

CONDENSADOS A LAGUNA DE EVAPORACIÓN



NOTAS:

SIMBOLOGIA:



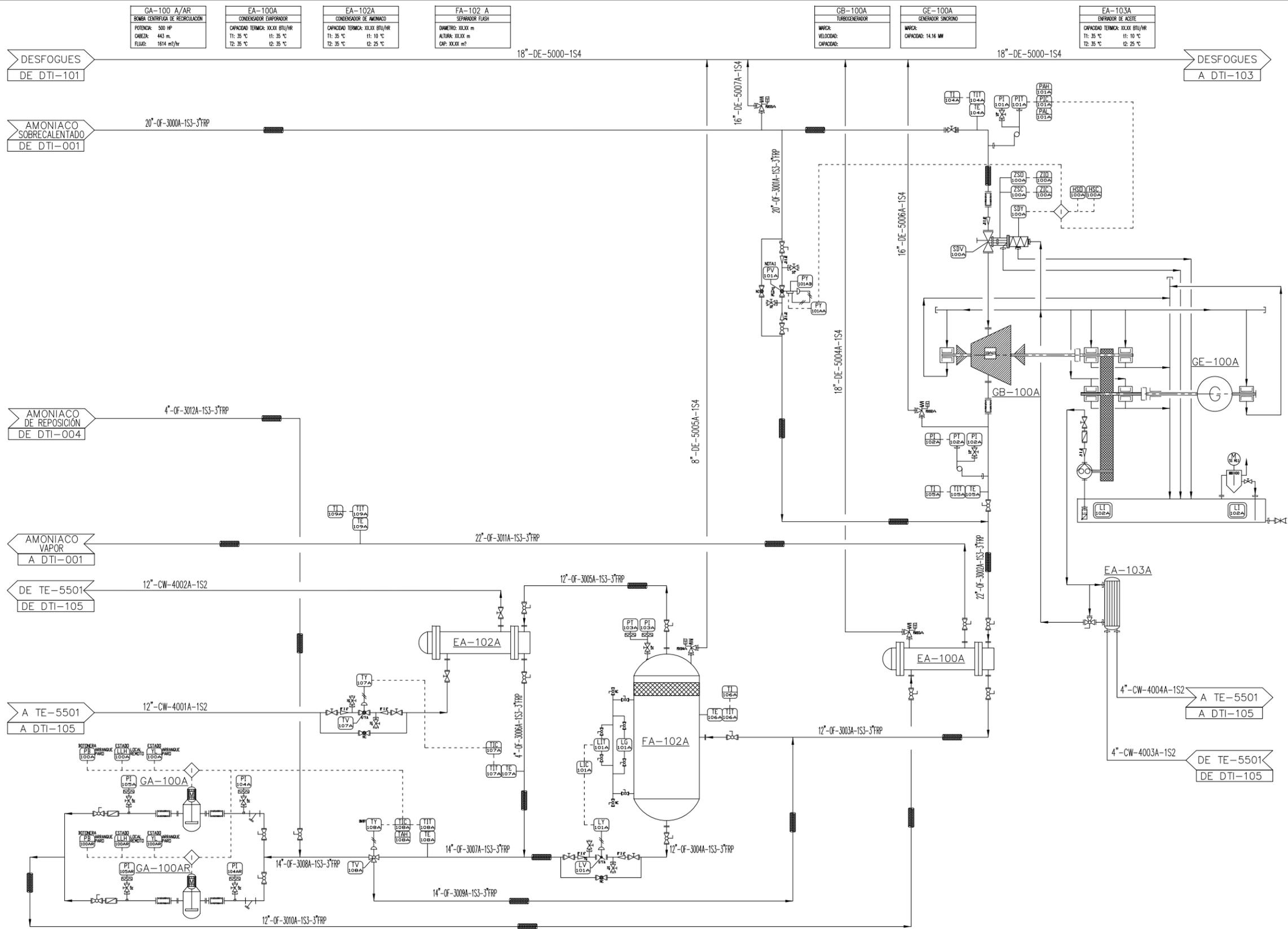
REVISIONES				DIBUJOS DE REFERENCIA			
No.	DESCRIPCION	FECHA	POR	Va.Ba.	No.	DESCRIPCION	
A	PARA REVISION Y/O COMENTARIOS	10/06/2009	R.M.B.	D.O.B.	MONT-01-DFP-002	DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO	

DIBUJO:	R.MONTEJANO
PROYECTO:	R.MONTEJANO
REVISO:	D.ORTIZ
APRBO:	-----
COORD:	-----
DIBUJO ELABORADO EN:	MEXICO D.F.
FECHA:	JUNIO/2009
ESC:	S/E.
ACOT:	---



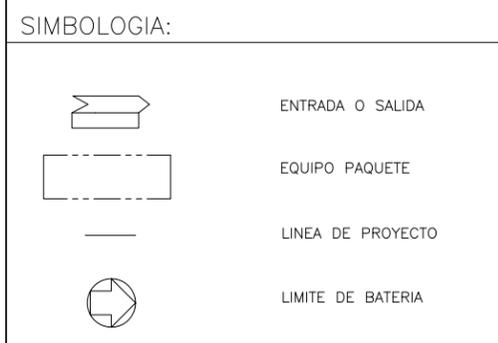
APROBADO POR:	
ING.	-----
FECHA:	-----
ING.	-----
FECHA:	-----
ING.	-----
FECHA:	-----

"RECUPERACIÓN DE ENERGÍA RESIDUAL EN UNA PLANTA GEOTÉRMICA MEDIANTE UN CICLO RANKINE ORGANICO"		
TITULO: DIAGRAMA DE TUBERIAS E INSTRUMENTACIÓN SECCIÓN SOBRECALENTADORES		
PROY. No.:	MONT-01	PLANO No.:
LUGAR:	CERRO PROETO, BAJA CALIFORNIA	HOJA 41 DE 74
REV.	A	



GA-100 A/AR BOMBA CENTRIFUGA DE RECIRCULACIÓN POTENCIA: 500 HP CABEZA: 443 m FLUIDO: 1614 m ³ /hr	EA-100A CONDENSADOR EVAPORADOR CAPACIDAD TERMICA: XXXX BTU/HR T1: 35 °C T2: 35 °C T1: 35 °C T2: 35 °C	EA-102A CONDENSADOR DE AMONÍACO CAPACIDAD TERMICA: XXXX BTU/HR T1: 35 °C T2: 35 °C T1: 10 °C T2: 25 °C	FA-102 A SEPARADOR FLASH DIAMETRO: XXXX m ALTURA: XXXX m CAP: XXXX m ³	GB-100A TURBOGENERADOR MARCA: VELOCIDAD: CAPACIDAD:	GE-100A GENERADOR SINCRONO MARCA: CAPACIDAD: 14.16 MW	EA-103A ENFRÍADOR DE ACEITE CAPACIDAD TERMICA: XXXX BTU/HR T1: 35 °C T2: 35 °C T1: 10 °C T2: 25 °C
---	--	---	--	--	---	---

NOTAS:



REVISIONES				DIBUJOS DE REFERENCIA		
No.	DESCRIPCION	FECHA	POR	Va.Ba.	No.	DESCRIPCION
A	PARA REVISION Y/O COMENTARIOS	10/06/2009	R.M.B.	D.O.B.	MONT-01-DFP-002	DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO

DIBUJO:	R.MONTEJANO
PROYECTO:	R.MONTEJANO
REVISO:	D.ORTIZ
APRBO:	-----
COORD.	-----
ESC:	S/E.
ACOT:	---



APROBADO POR:	
ING.	-----
FECHA:	-----
ING.	-----
FECHA:	-----
ING.	-----
FECHA:	-----

"RECUPERACIÓN DE ENERGÍA RESIDUAL EN UNA PLANTA GEOTÉRMICA MEDIANTE UN CICLO RANKINE ORGANICO"	
TITULO: DIAGRAMA DE TUBERIAS E INSTRUMENTACIÓN SECCIÓN TURBOGENERADOR "A"	
PROY. No.:	MONT-01
PLANO No.:	MONT-01-DT-002
LUGAR:	CERRO PROETO, BAJA CALIFORNIA
HOJA	42 DE 74
REV.	A

DIBUJO ELABORADO EN: MEXICO D.F. JUNIO/2009

GA-100 B/BR
BOMBA CENTRIFUGA DE RECIRCULACIÓN
POTENCIA: 500 HP
CABEZA: 443 m
FLUIDO: 1614 m ³ /hr

EA-100B
CONDENSADOR EVAPORADOR
CAPACIDAD TERMICA: XXXX BTU/HR
T1: 35 °C T2: 35 °C
T1: 35 °C T2: 35 °C

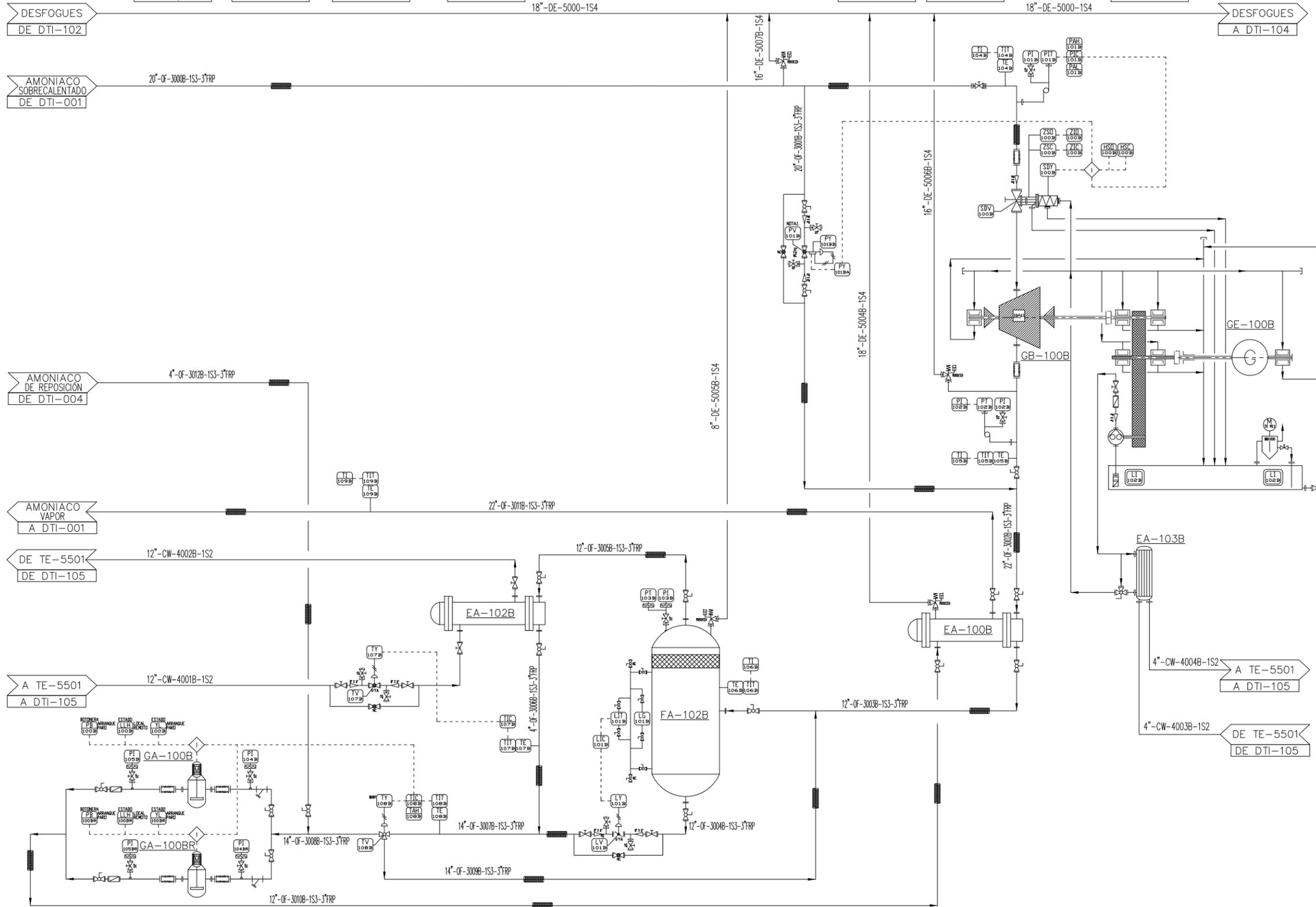
EA-102B
CONDENSADOR DE AMONÍACO
CAPACIDAD TERMICA: XXXX BTU/HR
T1: 35 °C T2: 35 °C
T1: 10 °C T2: 35 °C

FA-102B
SEPARADOR FLASH
DIAMETRO: XXXX m
ALTEZA: XXXX m
CAP: XXXX m ³

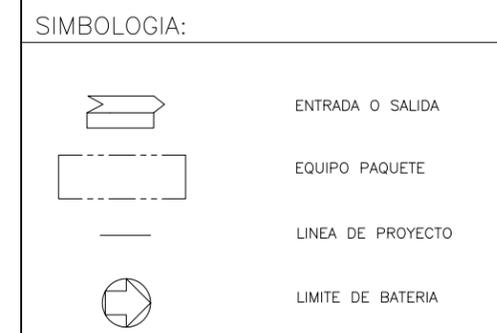
GB-100B
TURBOGENERADOR
MARCA: _____
VELOCIDAD: _____
CAPACIDAD: _____

GE-100B
GENERADOR SINCRONO
MARCA: _____
CAPACIDAD: 14.16 MW

EA-103B
ENFRIADOR DE ACEITE
CAPACIDAD TERMICA: XXXX BTU/HR
T1: 35 °C T2: 35 °C
T1: 10 °C T2: 25 °C



NOTAS:



REVISIONES					DIBUJOS DE REFERENCIA	
No.	DESCRIPCION	FECHA	POR	Va.Ba.	No.	DESCRIPCION
A	PARA REVISION Y/O COMENTARIOS	10/06/2009	R.M.B.	D.O.B.	MONT-01-DFP-002	DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO

DIBUJO:	R.MONTEJANO
PROYECTO:	R.MONTEJANO
REVISO:	D.ORTIZ
APRBO:	-----
COORD.	-----
DIBUJO ELABORADO EN:	MEXICO D.F.
FECHA:	JUNIO/2009
ESC:	S/E.
ACOT:	---



APROBADO POR:	
ING.	-----
FECHA:	-----
ING.	-----
FECHA:	-----
ING.	-----
FECHA:	-----

"RECUPERACIÓN DE ENERGÍA RESIDUAL EN UNA PLANTA GEOTÉRMICA MEDIANTE UN CICLO RANKINE ORGANICO"					
TITULO: DIAGRAMA DE TUBERIAS E INSTRUMENTACIÓN SECCIÓN TURBOGENERADOR "B"					
PROY. No.:	MONT-01	PLANO No.:	MONT-01-DT-003	REV.	A
LUGAR:	CERRO PROETO, BAJA CALIFORNIA	HOJA	43 DE 74		

GA-100 C/CR
BOMBA CENTRIFUGA DE RECIRCULACIÓN
POTENCIA: 500 HP
CABEZA: 443 m
FLUIDO: 1614 m ³ /hr

EA-100C
CONDENSADOR EVAPORADOR
CAPACIDAD TÉRMICA: XXXX BTU/HR
T1: 35 °C T2: 35 °C
T1: 35 °C T2: 35 °C

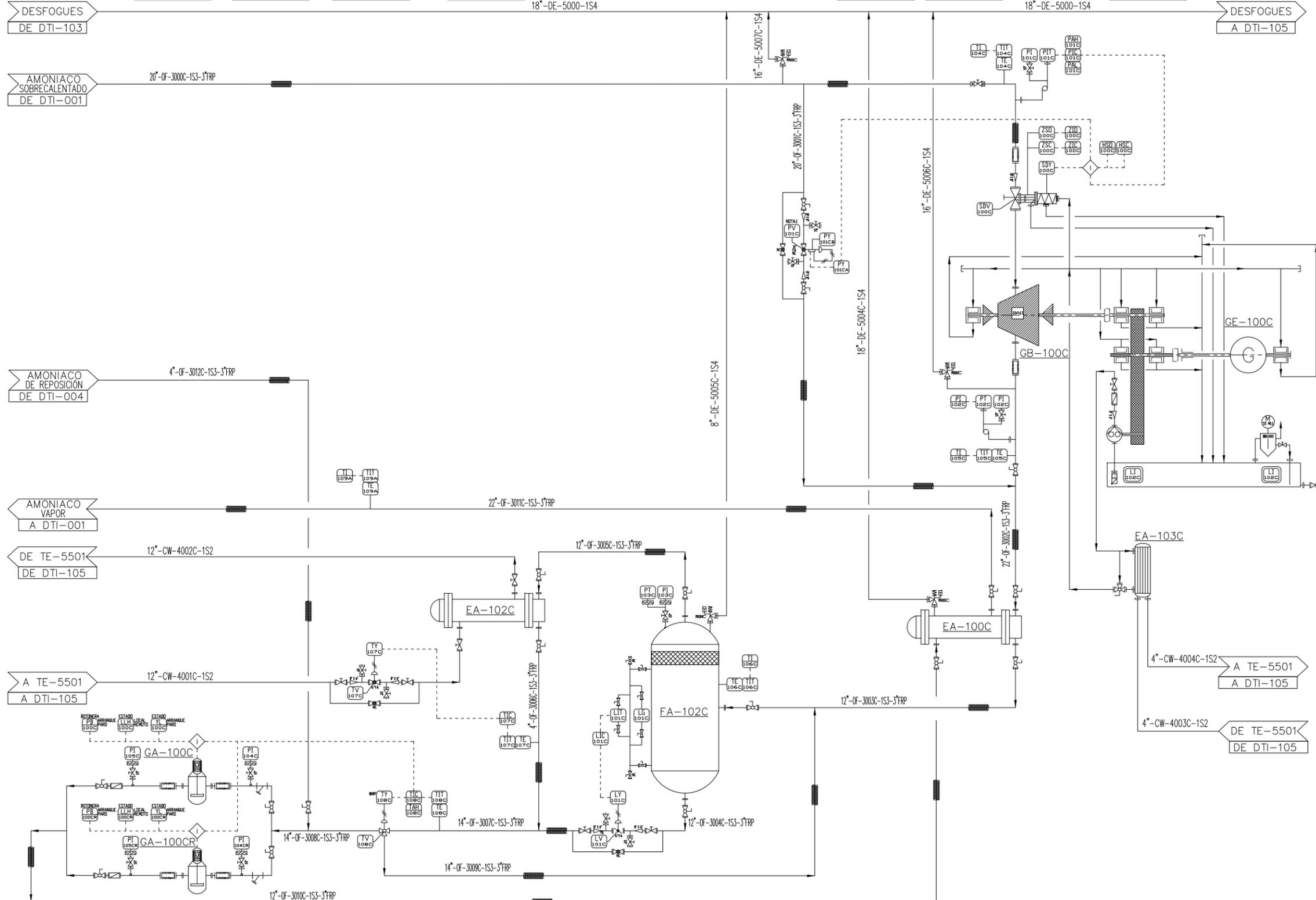
EA-102C
CONDENSADOR DE AMONÍACO
CAPACIDAD TÉRMICA: XXXX BTU/HR
T1: 35 °C T2: 35 °C
T1: 35 °C T2: 35 °C

FA-102C
SEPARADOR FLASH
DIÁMETRO: XXXX m
ALTEZA: XXXX m
CAP: XXXX m ³

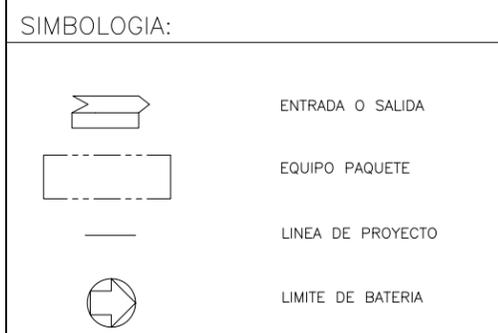
GB-100C
TURBOGENERADOR
MARCA: VELOCIDAD: CAPACIDAD:

GE-100C
GENERADOR SINCRONO
MARCA: CAPACIDAD: 14.16 MW

EA-103C
ENFRIADOR DE ACEITE
CAPACIDAD TÉRMICA: XXXX BTU/HR
T1: 35 °C T2: 35 °C
T1: 35 °C T2: 35 °C



NOTAS:



REVISIONES					DIBUJOS DE REFERENCIA	
No.	DESCRIPCION	FECHA	POR	Va.Ba.	No.	DESCRIPCION
A	PARA REVISION Y/O COMENTARIOS	10/06/2009	R.M.B.	D.O.B.	MONT-01-DFP-002	DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO

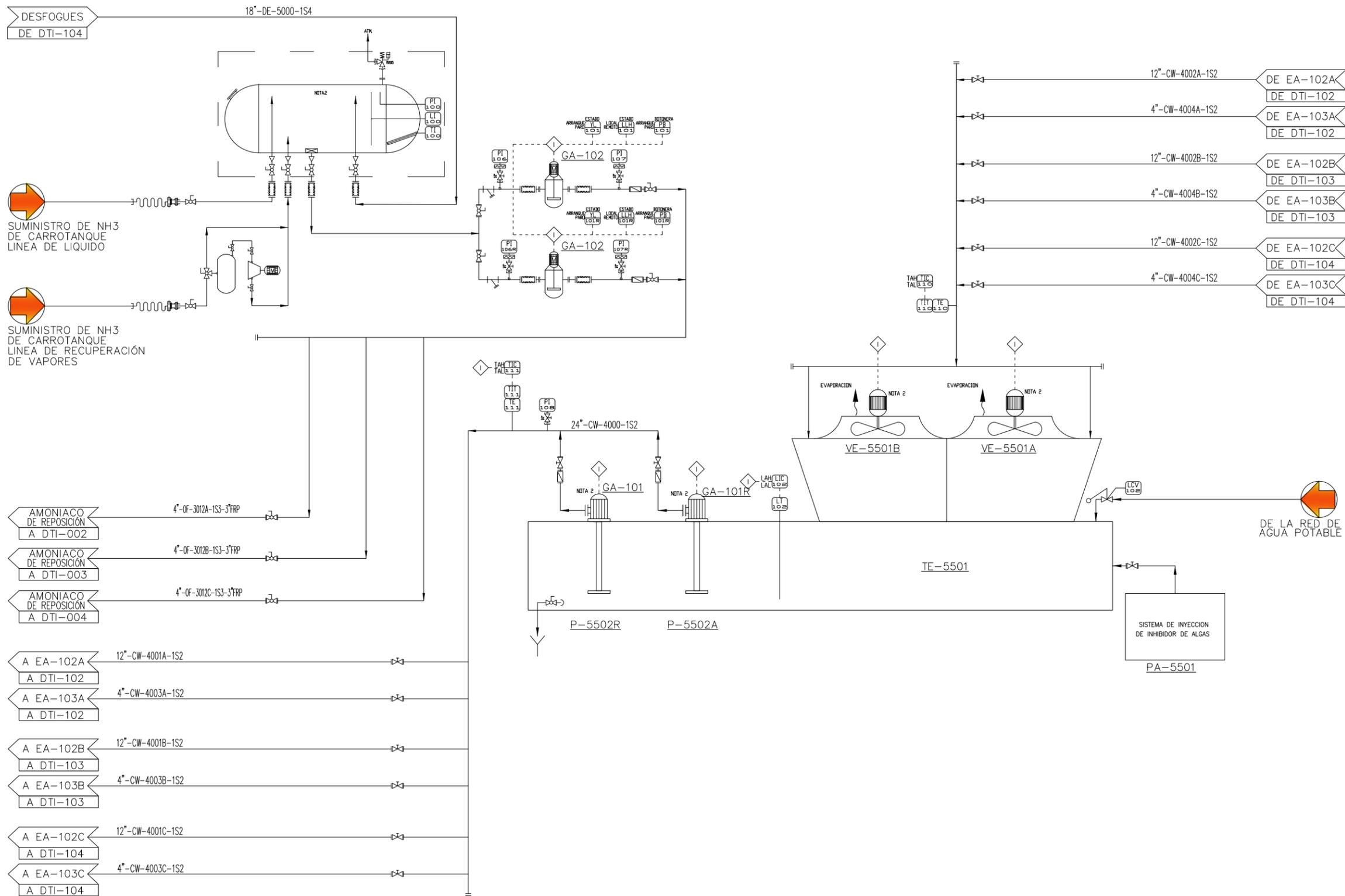
DIBUJO:	R.MONTEJANO
PROYECTO:	R.MONTEJANO
REVISO:	D.ORTIZ
APRBO:	-----
COORD:	-----



APROBADO POR:	
ING.	-----
FECHA:	-----
ING.	-----
FECHA:	-----
ING.	-----
FECHA:	-----

"RECUPERACIÓN DE ENERGÍA RESIDUAL EN UNA PLANTA GEOTÉRMICA MEDIANTE UN CICLO RANKINE ORGANICO"		
TITULO: DIAGRAMA DE TUBERIAS E INSTRUMENTACIÓN SECCIÓN TURBOGENERADOR "C"		
PROY. No.:	MONT-01	PLANO No.:
LUGAR:	CERRO PROETO, BAJA CALIFORNIA	HOJA 44 DE 74
REV.	A	

DIBUJO ELABORADO EN: MEXICO D.F. JUNIO/2009 ESC: S/E. ACOT: ---



NOTAS:

SIMBOLOGIA:

- ENTRADA O SALIDA
- EQUIPO PAQUETE
- LINEA DE PROYECTO
- LIMITE DE BATERIA

- DESFOGUES DE DTI-104
- 18-DE-5000-1S4
- ATAK
- NOTA 2
- GA-102
- GA-102
- GA-101
- GA-101R
- VE-5501B
- VE-5501A
- EVAPORACION
- EVAPORACION
- TE-5501
- P-5502R
- P-5502A
- PA-5501
- SISTEMA DE INYECCION DE INHIBIDOR DE ALGAS
- DE LA RED DE AGUA POTABLE
- 4-OF-3012A-1S3-3*FRP
- 4-OF-3012B-1S3-3*FRP
- 4-OF-3012C-1S3-3*FRP
- AMONIACO DE REPOSICION A DTI-002
- AMONIACO DE REPOSICION A DTI-003
- AMONIACO DE REPOSICION A DTI-004
- 12-CW-4001A-1S2
- 4-CW-4003A-1S2
- 12-CW-4001B-1S2
- 4-CW-4003B-1S2
- 12-CW-4001C-1S2
- 4-CW-4003C-1S2
- A EA-102A DE DTI-102
- A EA-103A DE DTI-102
- A EA-102B DE DTI-103
- A EA-103B DE DTI-103
- A EA-102C DE DTI-104
- A EA-103C DE DTI-104
- 12-CW-4002A-1S2 DE EA-102A DE DTI-102
- 4-CW-4004A-1S2 DE EA-103A DE DTI-102
- 12-CW-4002B-1S2 DE EA-102B DE DTI-103
- 4-CW-4004B-1S2 DE EA-103B DE DTI-103
- 12-CW-4002C-1S2 DE EA-102C DE DTI-104
- 4-CW-4004C-1S2 DE EA-103C DE DTI-104

REVISIONES					DIBUJOS DE REFERENCIA	
No.	DESCRIPCION	FECHA	POR	Va.Ba.	No.	DESCRIPCION
A	PARA REVISION Y/O COMENTARIOS	10/06/2009	R.M.B.	D.O.B.	MONT-01-DFP-002	DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO

DIBUJO:	R.MONTEJANO
PROYECTO:	R.MONTEJANO
REVISO:	D.ORTIZ
APRBO:	-----
COORD:	-----
DIBUJO ELABORADO EN:	MEXICO D.F.
FECHA:	JUNIO/2009
ESC:	S/E.
ACOT:	---



APROBADO POR:	
ING.	-----
FECHA:	-----
ING.	-----
FECHA:	-----
ING.	-----
FECHA:	-----

"RECUPERACIÓN DE ENERGÍA RESIDUAL EN UNA PLANTA GEOTÉRMICA MEDIANTE UN CICLO RANKINE ORGANICO"		
TITULO: DIAGRAMA DE TUBERIAS E INSTRUMENTACIÓN SECCIÓN SERVICIOS		
PROY. No.:	MONT-01	PLANO No.:
LUGAR:	CERRO PROETO, BAJA CALIFORNIA	HOJA 45 DE 74
REV.	A	

2.8 PLANO DE LOCALIZACIÓN GENERAL.

Ya que se tienen las dimensiones de los equipos, tuberías, aislamientos, válvulas, instrumentación, accesorios, mostrados en los diagramas de tuberías e instrumentación, se procede con la elaboración del plano de localización general de equipo PLG el cual estará confinado a un área delimitada de terreno en la que la totalidad de los equipos tendrán que ser ubicados considerando espacios entre los mismos, posición de los equipos y posición del Rack de tuberías para la futura distribución de líneas de Proceso y servicios sobre de él.

A continuación el Plano de de localización general.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

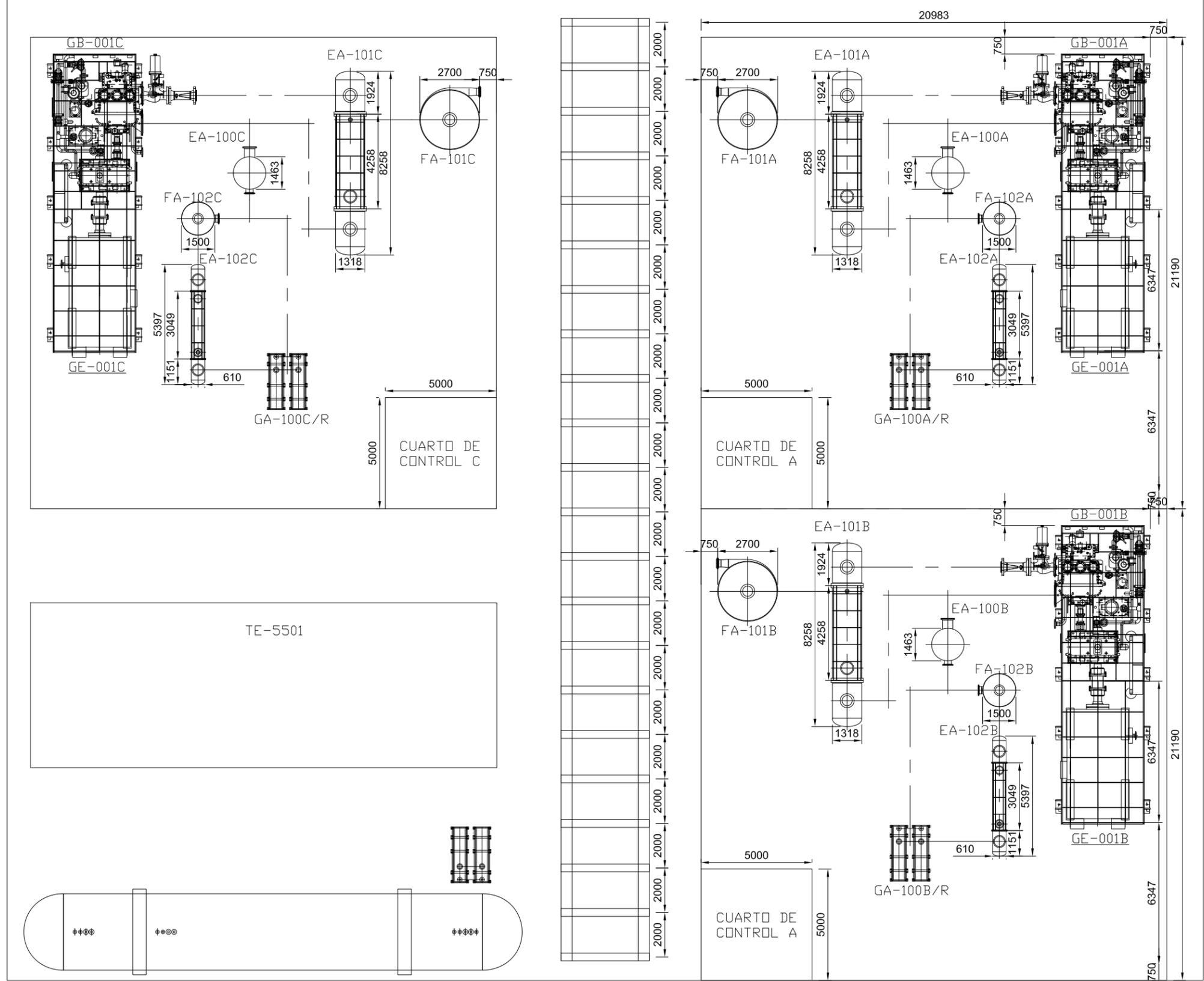
“ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA RESIDUAL EN UNA PLANTA GEOTÉRMICA MEDIANTE UN CICLO RANKINE ORGÁNICO”

ELABORÓ: R.M.B.

FECHA: AGOSTO/2009

HOJA 46 DE 74

NOTAS:



REVISIONES				DIBUJOS DE REFERENCIA		
No.	DESCRIPCION	FECHA	POR	Va.Bo.	No.	DESCRIPCION
A	PARA REVISION Y/O COMENTARIOS	10/06/2009	R.M.B.	C.R.S.	MONT-01-DT-001	DTI SECCION DE SOBRECALENTADORES
					MONT-01-DT-002	DTI SECCION DE TURBOGENERADOR A
					MONT-01-DT-003	DTI SECCION DE TURBOGENERADOR B
					MONT-01-DT-004	DTI SECCION DE TURBOGENERADOR C
					MONT-01-DT-005	DTI SECCION DE SERVICIO

DIBUJO: R.MONTEJANO	
PROYECTO: R.MONTEJANO	
REVISO: D.ORTIZ	
APRBO: -----	
COORD: -----	
ESC: S/E. ACOT: ---	
DIBUJO ELABORADO EN: MEXICO D.F. JUNIO/2009	



APROBADO POR:	
ING. -----	
FECHA: -----	
ING. -----	
FECHA: -----	
ING. -----	
FECHA: -----	

"RECUPERACIÓN DE ENERGÍA RESIDUAL EN UNA PLANTA GEOTÉRMICA MEDIANTE UN CICLO RANKINE ORGANICO"		
TITULO: PLANO DE LOCALIZACIÓN GENERAL		
PROY. No.: MONT-01	PLANO No.: MONT-01-PLG-001	REV. A
LUGAR: CERRO PROETO, BAJA CALIFORNIA	HOJA 47 DE 74	

CAPITULO 3

ANÁLISIS ECONÓMICO



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

“ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA RESIDUAL EN UNA PLANTA GEOTÉRMICA MEDIANTE UN CICLO RANKINE ORGÁNICO”

ELABORÓ: R.M.B.

FECHA: AGOSTO/2009

HOJA 48 DE 74

Este es un tema que inquieta a todos los interesados en llevar a cabo inversiones o que realizan planeación, evaluación o control, debido a que a partir de una correcta evaluación de las propuestas de inversión se puede tomar decisiones más seguras sobre los recursos que se pongan en juego.

Para el caso de los estudios de preinversión, con base en el conjunto de datos y proyecciones arrojados por la formulación, se procede a conocer el probable rendimiento que el proyecto dará durante su vida útil. Es una evaluación sobre resultados esperados y no reales, de ahí que la evaluación financiera y eco-social de proyectos sea conocida con el nombre de ex – ante y que la calidad de la información sea determinante en el grado de confianza que se tenga sobre los resultados previstos.

La evaluación financiera del proyecto es un análisis micro económico, tomando como objeto de investigación a la unidad productiva, considerando únicamente los efectos directos en costos, gastos e ingresos valorados a precio de mercado.

Los resultados de la evaluación se expresan en un conjunto de indicadores que miden los beneficios esperados, las ventajas de realizar la inversión, los cuales sirven para decidir si los recursos se arriesgan o se destinan a otra actividad o bien se dejan donde están. De hecho ésta parte del proyecto aglutina e incorpora todos los elementos e información manejada en los capítulos anteriores.

3.1 ELEMENTOS PARA LA EVALUACIÓN.

Estos comprenden la información básica que permite proceder a evaluar el proyecto, se tiene que reconocer e identificar los aspectos claves que impactan los resultados de la evaluación. Dichos elementos son:

- a) El monto de inversión.- Se debe de precisar el monto de los desembolsos en inversiones fijas, y diferidas.
- b) Ingresos y Egresos de operación.- Se deben tener precisados para cada año todos los costos y gastos en los cuales se incurrirá para generar los ingresos por ventas, preferiblemente en forma líquida y registrados en el momento que ocurran los desembolsos o el ingreso efectivo, ambos tomados del flujo de efectivo proyectado.
- c) Horizonte del proyecto (H.P.).- Este es el periodo de tiempo considerado para el análisis y las proyecciones de los datos, también denominado vida útil del proyecto.

El H.P. no puede ser indefinido, se debe acordar una temporalidad de hasta cuando se recibirán ingresos o se incurrirán en costos, fijando un horizonte idóneo para la evaluación del proyecto, éste dependerá de los siguientes factores:

- Vida útil del grueso de los activos fijos.- En este caso el período de depreciación de los activos fijos más importantes o el promedio de la mayoría es equivalente al H.P., ya que al vencerse el plazo de depreciación habría que hacer nuevas inversiones en forma considerable, para evitar esto se corta el horizonte del análisis una vez que se agotó la vida útil de los activos fijos más representativos.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

“ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA RESIDUAL EN UNA PLANTA GEOTÉRMICA MEDIANTE UN CICLO RANKINE ORGÁNICO”

ELABORÓ: R.M.B.

FECHA: AGOSTO/2009

HOJA 49 DE 74

Este es uno de los factores más influyentes en la definición del H.P., ya que para muchos proyectos las inversiones en maquinaria y equipo son de mucho peso, teniendo una tasa de depreciación del 10% anual, porcentaje que es igual para amortización de diferidos, razón por la cual se fija un horizonte de 10 años a numerosos proyectos.

- Tipo de recursos sujetos a explotación.- Cuando el proyecto va a explotar recursos no renovables o recuperables a muy largo plazo, la vida de los recursos sujetos a beneficios es equivalente al H.P., pues una vez agotado el recurso no es factible que la empresa continúe en operación. La vida de los recursos depende no sólo de la cantidad disponible (cuantificación de bancos, extensiones, etc.), sino del ritmo de explotación anual que proponga el proyecto y, además de los premios y/o concesiones otorgadas para su aprovechamiento.
- Plazo de amortización.- En este caso el H.P. es determinado por el período de tiempo pactado con el acreedor para pagar el crédito de largo plazo del proyecto, por lo que el H.P. no puede ser inferior a dicho período, pues la amortización tiene que estar comprendida dentro del análisis. Este factor es de peso cuando se otorga plazos largos para cubrir los financiamientos.
- Vida económica de la inversión.- Este factor es válido sólo que sea previsible, cosa que no resulta muy fácil, pues prevenir el momento en que va a ser antieconómico operar la empresa depende de factores circunstanciales frente a los cuales se debe tener un buen grado de incidencia. Sin embargo, casos típicos en donde este factor es previsible, son los proyectos que tienen un mercado cautivo, el cual únicamente demanda el producto y el resto de los consumidores no, en este caso la vida del mercado cautivo es la vida económica de la inversión y por tanto el H.P. otros casos son los mercados de corta duración.

También la vida económica de la inversión puede estar en función del factor tecnológico, en donde la vida estimada de un modelo es el horizonte de análisis, sólo que en estos casos, no se interrumpe el proyecto, sino que se renueva al aparecer el nuevo modelo que hace obsoleto al anterior y por lo tanto le resta mercado, orientándose los demandantes al modelo más reciente y así sucesivamente. No obstante si los plazos de cambios tecnológicos se prevén en el mediano plazo y no se cuenta con una línea de productos muy diversificada, este factor es muy relevante para el H.P.

Finalmente este factor se puede relacionar con aspectos políticos y sociales en donde la vida de la inversión y por tanto del proyecto depende del tiempo que demore al cumplir las metas y objetivos trazados, fijando el H.P. del proyecto en función de este período.

3.2 CONCEPTO DE RENTABILIDAD.

Este término es muy usado para reflejar la conveniencia o no de llevar a cabo una inversión, si es rentable es aceptable y viceversa, tanto en proyectos con fines de lucro, como en proyectos con fines sociales.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

“ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA RESIDUAL EN UNA PLANTA GEOTÉRMICA MEDIANTE UN CICLO RANKINE ORGÁNICO”

ELABORÓ: R.M.B.

FECHA: AGOSTO/2009

HOJA 50 DE 74

Sin embargo, la definición de qué es rentable se relaciona con dos grandes componentes, las utilidades o beneficios y las inversiones mismas, en relación a un patrón establecido o definido previamente.

La rentabilidad se entiende como la búsqueda y obtención de máximas utilidades con respecto a un volumen de inversión dado. La maximización de esta relación aumenta la rentabilidad con respecto al parámetro fijado, esto es, muchos beneficios con pocos desembolsos, y a la inversa, la minimización de dicha relación disminuye la rentabilidad. Las utilidades o beneficios pueden ser de tipo eco-financiero y/o eco-social y el parámetro de comparación generalmente es un costo de oportunidad.

Así para que las inversiones resulten rentables deben aumentar ingresos (mayor rotación) y/o reducir costos (mayor margen) y deben estar protegidas con respecto a la inflación obteniendo beneficios por encima de ésta y en forma rápida, por lo que también siempre está aparejado un riesgo.

La rentabilidad se expresa como una tasa de rendimiento, generalmente anual, la cual revela las unidades monetarias obtenidas por las desembolsadas inicialmente, anota en porcentaje. La tasa de rendimiento es equivalente a una tasa de interés.

Teóricamente existen tasa de rendimiento libres de riesgo, esto es las que ofrece el mercado de dinero a través de los bancos con un rendimiento fijo, lo único que se tiene que hacer es comprar certificados, bonos o pagarés y esperar a que transcurra el tiempo para poder cobrar los réditos y así obtener un rendimiento por el capital depositado.

Se dice que no hay riesgo, sin embargo frente a condiciones de inestabilidad económica se presentan dos grandes riesgos, la devaluación y la inflación galopante, por lo que invertir en estas condiciones es los instrumentos bancarios mencionados tienen un alto riesgo que muchos analistas e inversionistas no valoran bien para tomar decisiones.

Suponiendo que existan condiciones de estabilidad económica, entonces la tasa de rendimiento mínima aceptable (TREMA) o tasa de rendimiento esperada (TRE) de cualquier inversionista que decida realizar una empresa será:

$$\text{TREMA} = \text{ib} + r$$

Donde: ib = es la tasa (libre de riesgo) del sistema bancario a largo plazo

r = es la prima de riesgo por llevar a cabo una empresa, expresada como puntos porcentuales.

De esta forma la TREMA del proyecto es función de las condiciones que imperan en el mercado financiero y del nivel de riesgo de la inversión, el cual debe ser calculado para así poder fijar una cierta expectativa de rentabilidad. Para el caso de economías con inestabilidad en sus grandes variables, esto debe de ser parte del nivel de riesgo o dicho de otra forma la ib se convierte en una tasa riesgosa.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

“ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA RESIDUAL EN UNA PLANTA GEOTÉRMICA MEDIANTE UN CICLO RANKINE ORGÁNICO”

ELABORÓ: R.M.B.

FECHA: AGOSTO/2009

HOJA 51 DE 74

El no considerar a valorar correctamente el riesgo lleva a decisiones equivocadas, creyendo que una inversión es atractiva cuando puede no serlo debido al nivel de riesgo en el que se va a incurrir.

El nivel de riesgo puede ser bajo, medio o alto, el cual es una función de las circunstancias económicas, sociales y políticas, del plazo u horizonte de la inversión y sus beneficios, de la forma en que maduren éstos con respecto al tiempo, del tipo de producto o servicio que se quiera vender, del sector económico, del ámbito jurídico que atañe a la empresa y de la situación financiera de ésta para el caso de reinversiones o participación con capital accionario.

La valoración del nivel de riesgo corresponde, a los asesores y a los formuladores del proyecto. Evidentemente que a mayores niveles la TREMA siempre será mucho mayor que ib, en condiciones económicas normales.

Si se parte de las utilidades (netas, antes de impuestos, etc.) la rentabilidad (R) tiene una referencia contable, donde los datos se derivan del estado de resultados y del balance general, existiendo la posibilidad de obtener tantas rentabilidades como ejercicios o años tenga el proyecto, por lo que en este enfoque la rentabilidad es una sucesión de Rs:

3.3 MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE INVERSIONES.

3.3.1 Contable.-

En este método los indicadores que tienen relación con la evaluación de nuevas inversiones o proyectos son la rentabilidad contable (RC) y el período de recuperación del capital (PRC), ambos calculados a partir de los conceptos de utilidad neta, flujo de fondos y activos totales.

La RC es una relación entre la utilidad neta y las inversiones iniciales en activos fijos, diferidos y circulantes o inversiones totales. Sin embargo, debido a que existe una utilidad neta para cada año calculada en el estado de resultados proforma, se generará, como ya se comentó, una RC anual distinta, para evitar esto y obtener una RC para todo el período se promedian las utilidades netas quedando el cociente en la siguiente forma:

$$RC = \text{Utilidad Neta Promedio} / \text{Activos Totales.}$$

Este indicador no refleja las tendencias en los rendimientos durante el horizonte del proyecto ni la temporalidad de las utilidades, desventajas muy fuertes para ser usado como criterio de decisión en estudios de factibilidad.

La RC es un indicador aceptable para comparar la actuación de una empresa en un año con respecto a otro o con relación a una meta, la facilidad de su cálculo lo hace útil para conocer una primera aproximación de lo que será la rentabilidad en la elaboración de perfiles de inversión, pero no es recomendable para decidir ésta en las etapas posteriores del ciclo de proyectos.

El periodo de recuperación del capital (PCR) es el otro indicador contable que apoya la evaluación de inversiones, el cual se define como el período de tiempo durante el cual la



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

“ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA RESIDUAL EN UNA PLANTA GEOTÉRMICA MEDIANTE UN CICLO RANKINE ORGÁNICO”

ELABORÓ: R.M.B.

FECHA: AGOSTO/2009

HOJA 52 DE 74

erogación de capital es recuperada a partir de los flujos de fondos. Con la siguiente ecuación se obtendrá el PCR:

$$\sum_{j=0}^{J=PR} FF_j = \sum_{j=0}^{J=n} I_j$$

Donde:

FF_j = es el flujo de fondos

I_j = La inversión (es)

PR = Período de recuperación.

Como se observa en el cálculo de este criterio, el flujo de fondos, que es la utilidad neta más la depreciación de cada año, simplemente se suma hasta igualarlo con la suma de inversiones necesarias para ejecutar el proyecto.

También se puede calcular quitando el efecto de la depreciación a partir de la utilidad neta únicamente, suponiendo que se gastó, la depreciación, con lo cual el RPC aumentará en alguna medida.

Este indicador presenta la desventaja de no tomar en cuenta el momento en que ocurren las entradas y los desembolsos, además tiene la limitación de no medir la rentabilidad en un proyecto, debido a que su cálculo se desentiende de todos los beneficios producidos después del período de recuperación de la inversión, lo que puede llevar a decisiones erróneas cuando en la comparación de dos alternativas se elige aquella que permite recuperar lo más rápidamente posible la inversión inicial, pudiendo ser la que tiene menor rentabilidad.

Sin embargo, desde el punto de vista práctico presenta ventajas: la simplicidad de su cálculo, el que protege de riesgos ante la incertidumbre del futuro, y que revela la forma en que maduran los beneficios con respecto al capital. El RPC es un indicador complementario en la toma de decisiones de inversión, sobre todo cuando se comparan alternativas con flujos similares y no contrastados, teniendo preferencia aquellas con período de recuperación más cortos, aún cuando no exista un parámetro definido.

3.3.2 Flujos Descontados.-

Este método contrarresta las deficiencias del anterior, principalmente el problema de valorar el momento en que se presentan los ingresos o los costos y gastos. Para comparar flujos que se encuentran ubicados en diferente momento en el tiempo, aún siendo el mismo valor, es necesario efectuar la comparación en un solo momento, para ubicar los flujos en el mismo momento del tiempo se procede a llevar todos los valores al presente, siendo éste el momento elegido en la mayoría de los casos:



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

“ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA RESIDUAL EN UNA PLANTA GEOTÉRMICA MEDIANTE UN CICLO RANKINE ORGÁNICO”

ELABORÓ: R.M.B.

FECHA: AGOSTO/2009

HOJA 53 DE 74

Para traer los valores futuros al presente se utiliza el procedimiento de actualización, que consiste en descontar los valores por medio de una tasa de interés, aplicando las fórmulas de valor presente vistas en el tema de matemáticas financieras. Una vez hecho esto, todos los valores de costos y beneficios se encuentran en el presente, por lo que son perfectamente comparables, ya que a través de su actualización es que ha sido considerada la temporalidad en que aparecieron, así como el peso relativo de cada uno de ellos.

Otra característica de este método es que está basado en flujos de efectivo y no virtuales, como en muchos casos maneja la contabilidad, lo que se identifica en este caso con costos, son todos los desembolsos de efectivo sean inversiones o costos y gastos, y beneficios todas las entradas de efectivo por la operación, la diferencia algebraica entre costos (-) y beneficios (+), arroja el flujo neto de efectivo (FNE), que es la base del cálculo de dicho método.

Los principales indicadores de este método son la Tasa Interna de Retorno, el Valor Actual Neto, la relación Beneficio-Costo.

3.3.2.1 Valor Actual Neto (VAN).-

Se define como el ingreso neto que obtendrá la empresa a valores actualizados, el cual puede ser positivo o negativo. En el cálculo del VAN no se obtiene como resultado una rentabilidad en términos de tasa de interés, ésta debe de ser seleccionada previamente.

El valor Actual Neto de un proyecto se obtiene sumando sus beneficios netos actuales actualizados a una determinada tasa:

$$VAN = BN_0 + \frac{BN_1}{(1+i)^1} + \dots + \frac{BN_n}{(1+i)^n}$$

Donde: BN_j=Flujo Neto de Efectivo anual desde j = 0 hasta j = n

i = tasa de actualización

n = vida útil del proyecto (H.P.)

generalizando:

$$VAN = \sum_{j=0}^{j=n} \frac{BN_j}{(1+i)^j}$$



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

“ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA RESIDUAL EN UNA PLANTA GEOTÉRMICA MEDIANTE UN CICLO RANKINE ORGÁNICO”

ELABORÓ: R.M.B.

FECHA: AGOSTO/2009

HOJA 54 DE 74

Bajo este indicador un proyecto será considerado conveniente si su VAN es positivo o cuando menos igual a cero, esto último es muy difícil que ocurra, pues casi siempre aparece una cantidad determinada, sí su VAN es negativo, esto indica que no es conveniente y se debe rechazar.

Para seleccionar la tasa de interés necesaria para poder calcular el VAN, se siguen cualquiera de los siguientes criterios:

- 1) El costo de oportunidad del capital (COC) que es la máxima tasa de interés bancaria a largo plazo.
- 2) La TREMA, que es la tasa de rendimiento mínima esperada por los inversionistas una vez considerado el riesgo.
- 3) La tasa de oportunidad de la empresa, (TOE) que es la tasa de rendimiento que actualmente obtienen los inversionistas en negocios parecidos a los del proyecto, por lo que una inversión más, mínimamente les debe reeditar lo mismo que obtienen en su empresa.
- 4) La tasa que equivale al costo del capital (TCC), esta es la tasa que pactaron para el financiamiento a mediano plazo y es una medida de eficiencia, para comprobar que el proyecto rinde igual o más que su costo de capital, sobre todo para proyectos públicos.

3.3.2.2 La Tasa Interna de Retorno (TIR)

Este indicador refleja el rendimiento de los fondos invertidos, siendo un elemento de juicio muy usado y necesario cuando la selección de proyectos se hace bajo una óptica de racionalidad y eficiencia financiera.

La Tasa Interna de Retorno o Rentabilidad Financiera de un proyecto, se define de dos formas:

- 1) Como aquella tasa de actualización que hace nulo el Valor Actual Neto del proyecto, es decir, cuando el VAN es cero.

Algebraicamente esto se representa así:

$$\sum_{j=0}^{j=n} \frac{BN_j}{(1+i)^j} = 0$$

Donde i es la TIR

Por lo tanto, a diferencia del VAN la TIR supone que el cálculo de ésta va al encuentro de una tasa de interés, generalmente mediante tanteos.

- 2) Es la máxima tasa de interés que puede pagarse o que gana el capital no amortizado en un período de tiempo y que conlleva la recuperación o consumo del capital.

Esta segunda definición es más importante que la primera, pues revela más claramente lo que es la TIR, la cual en muchos casos es manejada pero no entendida.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

“ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA RESIDUAL EN UNA PLANTA GEOTÉRMICA MEDIANTE UN CICLO RANKINE ORGÁNICO”

ELABORÓ: R.M.B.

FECHA: AGOSTO/2009

HOJA 55 DE 74

3.3.2.3 La relación Beneficio-Costo (B/C)

Este indicador se define como la relación entre los beneficios y los costos de un proyecto generalmente a valores actuales. Si la relación B/C es mayor o igual que uno, el proyecto deberá aceptarse por cuanto indica que sus beneficios son mayores que sus costos o equivalentes a la tasa de oportunidad, que es la conveniente para los inversionistas.

Si el indicador es menor que uno, se debe de rechazar el proyecto.

Lo anterior se calcula a través de la siguiente ecuación:

$$\frac{B}{C} = \frac{\sum_{j=0}^{j=n} \frac{BB_j}{(1+i)^j}}{\sum_{j=0}^{j=n} \frac{I_j}{(1+i)^j} + \sum_{j=0}^{j=N} \frac{CO_j}{(1+i)^j}}$$

Donde: BB = Beneficios Brutos

CO = Costos de Operación

I = Costos de inversión

i = Tasa de actualización seleccionada

n = Vida útil del proyecto.

En general las decisiones aplicando la relación beneficio/costo, siguen las mismas recomendaciones que el VAN, por esta razón es un indicador de mayor peso en las evaluaciones eco-sociales que en las financieras.

El análisis económico se realizó a partir de la información normalizada de las propuestas de los Proveedores, así como de información generada en el análisis técnico, principalmente las características físicas de los equipos, tales como: capacidad, condiciones de diseño (presión y temperatura) y materiales de construcción de los equipos, todo lo anterior fue empleado para el costo estimado de inversión clase IV (con una precisión de +35%/-20%), y la posterior evaluación de la viabilidad del proyecto, tomando una paridad del peso frente al dólar de 13.4 MXP por USD.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

“ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA RESIDUAL EN UNA PLANTA GEOTÉRMICA MEDIANTE UN CICLO RANKINE ORGÁNICO”

ELABORÓ: R.M.B.

FECHA: AGOSTO/2009

HOJA 56 DE 74

3.4 COSTO DE INVERSIÓN FIJA

3.4.1 EQUIPOS DE PROCESO

CANT.	DESCRIPCIÓN	TAG	CAP	UNID.	COSTO UNITARIO		COSTO TOTAL	
					USD	MXP	USD	MXP
3	Turbogenerador	GB-100 A/B/C	14.16	MW	\$13,362,100	\$179,052,140	\$40,086,300	\$537,156,420
6	Bombas de recirculación	GA-100 A/B/C/R	500	HP	\$15,000	\$201,000	\$90,000	\$1,206,000
2	Bombas de S.A.E.	GA-101 A/R	250	HP	\$10,000	\$134,000	\$20,000	\$268,000
2	Bombas de purgado	GA-102 A/R	250	HP	\$15,000	\$201,000	\$30,000	\$402,000
3	Sobrecalentadores de NH3	EA-101 A/B/C	50.916667	MM Btu/h	\$121,220	\$1,624,348	\$363,660	\$4,873,044
3	Evaporador de NH3	EA-100 A/B/C	452.28667	MM Btu/h	\$1,917,280	\$25,691,552	\$5,751,840	\$77,074,656
3	Condensadores de NH3	EA-102 A/B/C	35.333333	MM Btu/h	\$21,520	\$288,368	\$64,560	\$865,104
3	Separadores flash ciclonicos	FA-101 A/B/C		m ³	\$22,288	\$298,653	\$66,863	\$895,959
3	Separadores flash de NH3	FA-102 A/B/C		m ³	\$7,429	\$99,551	\$22,288	\$298,653
1	Torre de enfriamiento	TE-100		m ³ /hr	\$100,220	\$1,342,948	\$100,220	\$1,342,948
3	Transformadores	TR-100 A/B/C		KV	\$50,000	\$670,000	\$150,000	\$2,010,000
1	Tanque colchon de NH3	TQ-100		m ³ /hr	\$80,000	\$1,072,000	\$80,000	\$1,072,000
TOTAL DE LA PARTIDA							\$46,825,730	\$627,464,784

3.4.2 VÁLVULAS DE CONTROL Y SEGURIDAD

CANT.	DESCRIPCIÓN	TAG.	φ	TIPO	COSTO UNITARIO		COSTO TOTAL	
					USD	MXP	USD	MXP
3	Controladora de presión	PV-100 A/B/C	12"	GLOBO	\$46,933	\$628,902	\$140,799	\$1,886,707
3	Controladora de temp.	TV-101 A/B/C	2"	GLOBO	\$9,527	\$127,667	\$28,582	\$383,000
3	Controladora presión	PV-101 A/B/C	12"	GLOBO	\$55,000	\$737,000	\$165,000	\$2,211,000
3	Controladora de temp.	TV-107 A/B/C	6"	GLOBO	\$12,000	\$160,800	\$36,000	\$482,400
3	Tres vías	TV-108 A/B/C	14"	BOLA	\$22,000	\$294,800	\$66,000	\$884,400
3	Controladora de nivel	LV-101 A/B/C	6"	MARIPOSA	\$5,000	\$67,000	\$15,000	\$201,000
3	Seguridad de presión	PSV-100 A/B/C	16"x18"	Ex. Termica	\$11,212	\$150,235	\$33,635	\$450,705
3	Seguridad de presión	PSV-101 A/B/C	14"x16"	Contra P.	\$11,212	\$150,235	\$33,635	\$450,705
3	Seguridad de presión	PSV-102 A/B/C	14"x16"	Contra P.	\$11,212	\$150,235	\$33,635	\$450,705
3	Seguridad de presión	PSV-103 A/B/C	16"x18"	Ex. Termica	\$11,212	\$150,235	\$33,635	\$450,705
3	Seguridad de presión	PSV-104 A/B/C	6"x8"	Ex. Termica	\$5,847	\$78,349	\$17,541	\$235,047
TOTAL DE LA PARTIDA							\$603,461	\$8,086,373

3.4.3 INSTRUMENTOS

CANT.	DESCRIPCIÓN	TAG.	TIPO	COSTO UNITARIO		COSTO TOTAL		
				USD	MXP	USD	MXP	
26	Transmisor e Indicador de Temperatura	100 A/B/C, 101 A/B/C, 104 A/B/C, 105 A/B/C, 106 A/B/C, 107 A/B/C, 108 A/B/C, 109 A/B/C, 110, 111	Electronico	\$1,601	\$21,451	\$41,621	\$557,719	
9	Transmisor de Presión	100 A/B/C, 102 A/B/C, 103 A/B/C.	Electronico	\$1,642	\$22,000	\$14,776	\$198,001	
3	Transmisor e indicador de Presión	101 A/B/C	Electronico	\$2,100	\$28,140	\$6,300	\$84,420	
3	Mirilla de Nivel	101 A/B/C	Manual	\$210	\$2,814	\$630	\$8,442	
3	Indicador y Transmisor de Nivel	101 A/B/C	Electronico	\$2,100	\$28,140	\$6,300	\$84,420	
1	Transmisor de Nivel	102	Electronico	\$1,700	\$22,780	\$1,700	\$22,780	
29	Indicador de Presión	100 A/B/C, 101 A/B/C, 102 A/B/C, 103 A/B/C, 104 A/B/C, 104 AR/BR/CR, 105 A/B/C, 105 AR/BR/CR, 106 A/R, 107 A/R, 108	Bourdon	\$273	\$3,661	\$7,923	\$106,166	
TOTAL DE LA PARTIDA							\$79,250	\$1,061,947



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

"ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA RESIDUAL EN UNA PLANTA GEOTÉRMICA MEDIANTE UN CICLO RANKINE ORGÁNICO"

ELABORO: RMB A FECHA: 25/09/2009 HOJA 57 DE 74

3.4.4 VÁLVULAS										
φ	TIPO DE VÁLVULA				COSTO UNITARIO				COSTO TOTAL	
	COMPUERTA	BOLA	GLOBO	CHECK	COMP	BOLA	GLOBO	CHECK	USD	MXP
22	2	12	0	2	\$18,000.00	\$22,000.00		\$23,500.00	\$25,896	\$347,000.00
20	3	9	3	0	\$16,000.00	\$20,000.00	\$32,000.00		\$24,179	\$324,000.00
18	0	10	3	0		\$18,000.00	\$28,500.00		\$19,813	\$265,500.00
16	0	0	0	0					\$0	\$0.00
14	0	12	0	0		\$13,000.00			\$11,642	\$156,000.00
12	27	18	6	2	\$10,000.00	\$11,500.00	\$15,000.00	\$15,200.00	\$44,582	\$597,400.00
8	0	7	0	2		\$9,000.00		\$13,000.00	\$6,642	\$89,000.00
4	12	9	3	0	\$2,000.00	\$6,000.00	\$10,000.00		\$8,060	\$108,000.00
1	9	0	0	0	\$500.00				\$336	\$4,500.00
1/2	59	0	0	0	\$350.00				\$1,541	\$20,650.00
TOTAL DE LA PARTIDA									\$142,690.30	\$1,912,050

3.4.5 OBRA CIVIL CIMENTACIONES

3.4.5.1 TURBOGENERADOR GB-100A						
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL		
				USD	MXP	
Concreto	308.7	m³	1900	\$43,771	\$586,530	
Excavación	478.2	m³	73	\$2,605	\$34,909	
Relleno	212.9	m³	375	\$5,958	\$79,838	
Acero de refuerzo	29.6	Ton	10600	\$23,415	\$313,760	
Anclas	40	Pzas	1400	\$4,179	\$56,000	
Grout	6.09	m³	34500	\$15,679	\$210,105	
Cimbra	263	m²	200	\$3,925	\$52,600	
Trazo y nivelación	354.2	m²	3.5	\$93	\$1,240	
Acarreo	26.53	m²	3.5	\$7	\$93	
TOTAL DE LA PARTIDA				\$99,632	\$1,335,074	

3.4.5.2 TURBOGENERADOR GB-100B						
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL		
				USD	MXP	
Concreto	308.7	m³	1900	\$43,771	\$586,530	
Excavación	478.2	m³	73	\$2,605	\$34,909	
Relleno	212.9	m³	375	\$5,958	\$79,838	
Acero de refuerzo	29.6	Ton	10600	\$23,415	\$313,760	
Anclas	40	Pzas	1400	\$4,179	\$56,000	
Grout	6.09	m³	34500	\$15,679	\$210,105	
Cimbra	263	m²	200	\$3,925	\$52,600	
Trazo y nivelación	354.2	m²	3.5	\$93	\$1,240	
Acarreo	26.53	m²	3.5	\$7	\$93	
TOTAL DE LA PARTIDA				\$99,632	\$1,335,074	

3.4.5.3 TURBOGENERADOR GB-100C						
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL		
				USD	MXP	
Concreto	308.7	m³	1900	\$43,771	\$586,530	
Excavación	478.2	m³	73	\$2,605	\$34,909	
Relleno	212.9	m³	375	\$5,958	\$79,838	
Acero de refuerzo	29.6	Ton	10600	\$23,415	\$313,760	
Anclas	40	Pzas	1400	\$4,179	\$56,000	
Grout	6.09	m³	34500	\$15,679	\$210,105	
Cimbra	263	m²	200	\$3,925	\$52,600	
Trazo y nivelación	354.2	m²	3.5	\$93	\$1,240	
Acarreo	26.53	m²	3.5	\$7	\$93	
TOTAL DE LA PARTIDA				\$99,632	\$1,335,074	

3.4.5.4 EVAPORADOR EA-100 A					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL	
				USD	MXP
Concreto	19.7	m ³	1900	\$2,796	\$37,468
Excavación	75.0	m ³	73	\$409	\$5,475
Relleno	68.4	m ³	375	\$1,913	\$25,631
Acero de refuerzo	2.4	Ton	10600	\$1,859	\$24,910
Anclas	4.0	Pzas	1400	\$418	\$5,600
Grout	0.0	m ³	34500	\$0	\$0
Cimbra	57.4	m ²	200	\$856	\$11,475
Trazo y nivelación	50.0	m ²	3.5	\$13	\$175
Acarreo	6.7	m ²	3.5	\$2	\$23
TOTAL DE LA PARTIDA				\$8,265	\$110,758

3.4.5.5 EVAPORADOR EA-100 B					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL	
				USD	MXP
Concreto	19.7	m ³	1900	\$2,796	\$37,468
Excavación	75.0	m ³	73	\$409	\$5,475
Relleno	68.4	m ³	375	\$1,913	\$25,631
Acero de refuerzo	2.4	Ton	10600	\$1,859	\$24,910
Anclas	4.0	Pzas	1400	\$418	\$5,600
Grout	0.0	m ³	34500	\$0	\$0
Cimbra	57.4	m ²	200	\$856	\$11,475
Trazo y nivelación	50.0	m ²	3.5	\$13	\$175
Acarreo	6.7	m ²	3.5	\$2	\$23
TOTAL DE LA PARTIDA				\$8,265	\$110,758

3.4.5.6 EVAPORADOR EA-100 C					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL	
				USD	MXP
Concreto	19.7	m ³	1900	\$2,796	\$37,468
Excavación	75.0	m ³	73	\$409	\$5,475
Relleno	68.4	m ³	375	\$1,913	\$25,631
Acero de refuerzo	2.4	Ton	10600	\$1,859	\$24,910
Anclas	4.0	Pzas	1400	\$418	\$5,600
Grout	0.0	m ³	34500	\$0	\$0
Cimbra	57.4	m ²	200	\$856	\$11,475
Trazo y nivelación	50.0	m ²	3.5	\$13	\$175
Acarreo	6.7	m ²	3.5	\$2	\$23
TOTAL DE LA PARTIDA				\$8,265	\$110,758

3.4.5.7 SOBRECALENTADOR EA-101 A					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL	
				USD	MXP
Concreto	19.7	m ³	1900	\$2,796	\$37,468
Excavación	75.0	m ³	73	\$409	\$5,475
Relleno	68.4	m ³	375	\$1,913	\$25,631
Acero de refuerzo	2.4	Ton	10600	\$1,859	\$24,910
Anclas	4.0	Pzas	1400	\$418	\$5,600
Grout	0.0	m ³	34500	\$0	\$0
Cimbra	57.4	m ²	200	\$856	\$11,475
Trazo y nivelación	50.0	m ²	3.5	\$13	\$175
Acarreo	6.7	m ²	3.5	\$2	\$23
TOTAL DE LA PARTIDA				\$8,265	\$110,758

3.4.5.8 SOBREALENTADOR EA-101 B					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL	
				USD	MXP
Concreto	19.7	m ³	1900	\$2,796	\$37,468
Excavación	75.0	m ³	73	\$409	\$5,475
Relleno	68.4	m ³	375	\$1,913	\$25,631
Acero de refuerzo	2.4	Ton	10600	\$1,859	\$24,910
Anclas	4.0	Pzas	1400	\$418	\$5,600
Grout	0.0	m ³	34500	\$0	\$0
Cimbra	57.4	m ²	200	\$856	\$11,475
Trazo y nivelación	50.0	m ²	3.5	\$13	\$175
Acarreo	6.7	m ²	3.5	\$2	\$23
TOTAL DE LA PARTIDA				\$8,265	\$110,758

3.4.5.9 SOBREALENTADOR EA-101 C					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL	
				USD	MXP
Concreto	19.7	m ³	1900	\$2,796	\$37,468
Excavación	75.0	m ³	73	\$409	\$5,475
Relleno	68.4	m ³	375	\$1,913	\$25,631
Acero de refuerzo	2.4	Ton	10600	\$1,859	\$24,910
Anclas	4.0	Pzas	1400	\$418	\$5,600
Grout	0.0	m ³	34500	\$0	\$0
Cimbra	57.4	m ²	200	\$856	\$11,475
Trazo y nivelación	50.0	m ²	3.5	\$13	\$175
Acarreo	6.7	m ²	3.5	\$2	\$23
TOTAL DE LA PARTIDA				\$8,265	\$110,758

3.4.5.10 CONDENSADOR EA-102 A					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL	
				USD	MXP
Concreto	13.1	m ³	1900	\$1,864	\$24,979
Excavación	50.0	m ³	73	\$272	\$3,650
Relleno	45.6	m ³	375	\$1,275	\$17,088
Acero de refuerzo	1.6	Ton	10600	\$1,239	\$16,607
Anclas	2.7	Pzas	1400	\$279	\$3,733
Grout	0.0	m ³	34500	\$0	\$0
Cimbra	76.5	m ²	200	\$1,142	\$15,300
Trazo y nivelación	16.7	m ²	3.5	\$4	\$58
Acarreo	4.4	m ²	3.5	\$1	\$16
TOTAL DE LA PARTIDA				\$6,077	\$81,430

3.4.5.11 CONDENSADOR EA-102 B					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL	
				USD	MXP
Concreto	13.1	m ³	1900	\$1,864	\$24,979
Excavación	50.0	m ³	73	\$272	\$3,650
Relleno	45.6	m ³	375	\$1,275	\$17,088
Acero de refuerzo	1.6	Ton	10600	\$1,239	\$16,607
Anclas	2.7	Pzas	1400	\$279	\$3,733
Grout	0.0	m ³	34500	\$0	\$0
Cimbra	76.5	m ²	200	\$1,142	\$15,300
Trazo y nivelación	16.7	m ²	3.5	\$4	\$58
Acarreo	4.4	m ²	3.5	\$1	\$16
TOTAL DE LA PARTIDA				\$6,077	\$81,430

 	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO				
	“ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA RESIDUAL EN UNA PLANTA GEOTÉRMICA MEDIANTE UN CICLO RANKINE ORGANICO”				
	ELABORO:	RMB	A	FECHA:	25/09/2009

3.4.5.12 CONDENSADOR EA-102 C					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL	
				USD	MXP
Concreto	13.1	m ³	1900	\$1,864	\$24,979
Excavación	50.0	m ³	73	\$272	\$3,650
Relleno	45.6	m ³	375	\$1,275	\$17,088
Acero de refuerzo	1.6	Ton	10600	\$1,239	\$16,607
Anclas	2.7	Pzas	1400	\$279	\$3,733
Grout	0.0	m ³	34500	\$0	\$0
Cimbra	76.5	m ²	200	\$1,142	\$15,300
Trazo y nivelación	16.7	m ²	3.5	\$4	\$58
Acarreo	4.4	m ²	3.5	\$1	\$16
TOTAL DE LA PARTIDA				\$6,077	\$81,430

3.4.5.13 SEPARADOR FLASH DE SALMUERA FA-100 A					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL	
				USD	MXP
Concreto	39.4	m ³	1900	\$5,592	\$74,936
Excavación	150.0	m ³	73	\$817	\$10,950
Relleno	136.7	m ³	375	\$3,826	\$51,263
Acero de refuerzo	4.7	Ton	10600	\$3,718	\$49,820
Anclas	8.0	Pzas	1400	\$836	\$11,200
Grout	0.0	m ³	34500	\$0	\$0
Cimbra	229.5	m ²	200	\$3,425	\$45,900
Trazo y nivelación	25.0	m ²	3.5	\$7	\$88
Acarreo	13.3	m ²	3.5	\$3	\$47
TOTAL DE LA PARTIDA				\$18,224	\$244,203

3.4.5.14 SEPARADOR FLASH DE SALMUERA FA-100 B					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL	
				USD	MXP
Concreto	39.4	m ³	1900	\$5,592	\$74,936
Excavación	150.0	m ³	73	\$817	\$10,950
Relleno	136.7	m ³	375	\$3,826	\$51,263
Acero de refuerzo	4.7	Ton	10600	\$3,718	\$49,820
Anclas	8.0	Pzas	1400	\$836	\$11,200
Grout	0.0	m ³	34500	\$0	\$0
Cimbra	229.5	m ²	200	\$3,425	\$45,900
Trazo y nivelación	25.0	m ²	3.5	\$7	\$88
Acarreo	13.3	m ²	3.5	\$3	\$47
TOTAL DE LA PARTIDA				\$18,224	\$244,203

3.4.5.15 SEPARADOR FLASH DE SALMUERA FA-100 C					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL	
				USD	MXP
Concreto	39.4	m ³	1900	\$5,592	\$74,936
Excavación	150.0	m ³	73	\$817	\$10,950
Relleno	136.7	m ³	375	\$3,826	\$51,263
Acero de refuerzo	4.7	Ton	10600	\$3,718	\$49,820
Anclas	8.0	Pzas	1400	\$836	\$11,200
Grout	0.0	m ³	34500	\$0	\$0
Cimbra	229.5	m ²	200	\$3,425	\$45,900
Trazo y nivelación	25.0	m ²	3.5	\$7	\$88
Acarreo	13.3	m ²	3.5	\$3	\$47
TOTAL DE LA PARTIDA				\$18,224	\$244,203

 	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO				
	"ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA RESIDUAL EN UNA PLANTA GEOTÉRMICA MEDIANTE UN CICLO RANKINE ORGANICO"				
ELABORO:	RMB	A	FECHA:	25/09/2009	HOJA 61 DE 74

3.4.5.16 SEPARADOR FLASH DE NH3 FA-102 A					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL	
				USD	MXP
Concreto	7.9	m ³	1900	\$1,118	\$14,987
Excavación	30.0	m ³	73	\$163	\$2,190
Relleno	27.3	m ³	375	\$765	\$10,253
Acero de refuerzo	0.9	Ton	10600	\$744	\$9,964
Anclas	1.6	Pzas	1400	\$167	\$2,240
Grout	0.0	m ³	34500	\$0	\$0
Cimbra	45.9	m ²	200	\$685	\$9,180
Trazo y nivelación	10.0	m ²	3.5	\$3	\$35
Acarreo	2.7	m ²	3.5	\$1	\$9
TOTAL DE LA PARTIDA				\$3,646	\$48,858

3.4.5.19 BOMBAS DE RECIRCULACIÓN GA-100 A					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL	
				USD	MXP
Concreto	6.5	m ³	1900	\$923	\$12,369
Excavación	15.7	m ³	73	\$86	\$1,146
Relleno	10.0	m ³	375	\$280	\$3,750
Acero de refuerzo	1.1	Ton	10600	\$854	\$11,448
Anclas	32.0	Pzas	1400	\$3,343	\$44,800
Grout	0.0	m ³	34500	\$0	\$0
Cimbra	10.7	m ²	200	\$160	\$2,140
Trazo y nivelación	5.4	m ²	3.5	\$1	\$19
Acarreo	5.7	m ²	3.5	\$1	\$20
TOTAL DE LA PARTIDA				\$5,649	\$75,692

3.4.5.20 BOMBAS DE RECIRCULACIÓN GA-100 B					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL	
				USD	MXP
Concreto	6.5	m ³	1900	\$923	\$12,369
Excavación	15.7	m ³	73	\$86	\$1,146
Relleno	10.0	m ³	375	\$280	\$3,750
Acero de refuerzo	1.1	Ton	10600	\$854	\$11,448
Anclas	32.0	Pzas	1400	\$3,343	\$44,800
Grout	0.0	m ³	34500	\$0	\$0
Cimbra	10.7	m ²	200	\$160	\$2,140
Trazo y nivelación	5.4	m ²	3.5	\$1	\$19
Acarreo	5.7	m ²	3.5	\$1	\$20
TOTAL DE LA PARTIDA				\$5,649	\$75,692

3.4.5.21 BOMBAS DE RECIRCULACIÓN GA-100 C					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL	
				USD	MXP
Concreto	6.5	m ³	1900	\$923	\$12,369
Excavación	15.7	m ³	73	\$86	\$1,146
Relleno	10.0	m ³	375	\$280	\$3,750
Acero de refuerzo	1.1	Ton	10600	\$854	\$11,448
Anclas	32.0	Pzas	1400	\$3,343	\$44,800
Grout	0.0	m ³	34500	\$0	\$0
Cimbra	10.7	m ²	200	\$160	\$2,140
Trazo y nivelación	5.4	m ²	3.5	\$1	\$19
Acarreo	5.7	m ²	3.5	\$1	\$20
TOTAL DE LA PARTIDA				\$5,649	\$75,692

3.4.5.22 BOMBAS DE CEBADO GA-102					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL	
				USD	MXP
Concreto	6.5	m ³	1900	\$923	\$12,369
Excavación	15.7	m ³	73	\$86	\$1,146
Relleno	10.0	m ³	375	\$280	\$3,750
Acero de refuerzo	1.1	Ton	10600	\$854	\$11,448
Anclas	32.0	Pzas	1400	\$3,343	\$44,800
Grout	0.0	m ³	34500	\$0	\$0
Cimbra	10.7	m ²	200	\$160	\$2,140
Trazo y nivelación	5.4	m ²	3.5	\$1	\$19
Acarreo	5.7	m ²	3.5	\$1	\$20
TOTAL DE LA PARTIDA				\$5,649	\$75,692

3.4.5.23 TORRE DE ENFRIAMIENTO TE-5501					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL	
				USD	MXP
Concreto	81.0	m ³	1900	\$11,482	\$153,862
Excavación	607.5	m ³	73	\$3,310	\$44,348
Relleno	354.0	m ³	375	\$9,908	\$132,765
Acero de refuerzo	6.2	Ton	10600	\$4,922	\$65,953
Anclas	38.0	Pzas	1400	\$3,970	\$53,200
Grout	0.0	m ³	34500	\$90	\$1,208
Cimbra	490.0	m ²	200	\$7,313	\$98,000
Trazo y nivelación	80.0	m ²	3.5	\$21	\$280
Acarreo	253.5	m ²	3.5	\$66	\$887
TOTAL DE LA PARTIDA				\$41,082	\$550,502

3.4.5.24 TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE AMONIACO					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL	
				USD	MXP
Concreto	162.0	m ³	1900	\$22,964	\$307,724
Excavación	1215.0	m ³	73	\$6,619	\$88,695
Relleno	708.1	m ³	375	\$19,816	\$265,530
Acero de refuerzo	12.4	Ton	10600	\$9,844	\$131,906
Anclas	76.0	Pzas	1400	\$7,940	\$106,400
Grout	0.1	m ³	34500	\$180	\$2,415
Cimbra	980.0	m ²	200	\$14,627	\$196,000
Trazo y nivelación	160.0	m ²	3.5	\$42	\$560
Acarreo	506.9	m ²	3.5	\$132	\$1,774
TOTAL DE LA PARTIDA				\$82,165	\$1,101,005

3.4.6 OBRA CIVIL EDIFICACIONES

3.4.6.1 EDIFICIO DEL TURBOGENERADOR A					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL	
				USD	MXP
Concreto	178.1	m ³	1900	\$25,252	\$338,371
Excavación	1368.0	m ³	73	\$7,453	\$99,864
Relleno	1250.6	m ³	375	\$34,998	\$468,975
Acero de refuerzo	28.6	Ton	10600	\$22,584	\$302,630
Anclas	12.0	Pzas	1400	\$1,254	\$16,800
Grout	0.2	m ³	34500	\$404	\$5,417
Cimbra	592.0	m ²	200	\$8,836	\$118,400
Trazo y nivelación	647.0	m ²	3.5	\$169	\$2,265
Acarreo	117.4	m ²	3.5	\$31	\$411
TOTAL DE LA PARTIDA				\$100,980	\$1,353,132

 	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO				
	“ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA RESIDUAL EN UNA PLANTA GEOTÉRMICA MEDIANTE UN CICLO RANKINE ORGANICO”				
ELABORO:	RMB	A	FECHA:	25/09/2009	HOJA 63 DE 74

3.4.6.2 EDIFICIO DEL TURBOGENERADOR B					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL	
				USD	MXP
Concreto	178.1	m ³	1900	\$25,252	\$338,371
Excavación	1368.0	m ³	73	\$7,453	\$99,864
Relleno	1250.6	m ³	375	\$34,998	\$468,975
Acero de refuerzo	28.6	Ton	10600	\$22,584	\$302,630
Anclas	12.0	Pzas	1400	\$1,254	\$16,800
Grout	0.2	m ³	34500	\$404	\$5,417
Cimbra	592.0	m ²	200	\$8,836	\$118,400
Trazo y nivelación	647.0	m ²	3.5	\$169	\$2,265
Acarreo	117.4	m ²	3.5	\$31	\$411
TOTAL DE LA PARTIDA				\$100,980	\$1,353,132

3.4.6.3 EDIFICIO DEL TURBOGENERADOR C					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL	
				USD	MXP
Concreto	178.1	m ³	1900	\$25,252	\$338,371
Excavación	1368.0	m ³	73	\$7,453	\$99,864
Relleno	1250.6	m ³	375	\$34,998	\$468,975
Acero de refuerzo	28.6	Ton	10600	\$22,584	\$302,630
Anclas	12.0	Pzas	1400	\$1,254	\$16,800
Grout	0.2	m ³	34500	\$404	\$5,417
Cimbra	592.0	m ²	200	\$8,836	\$118,400
Trazo y nivelación	647.0	m ²	3.5	\$169	\$2,265
Acarreo	117.4	m ²	3.5	\$31	\$411
TOTAL DE LA PARTIDA				\$100,980	\$1,353,132

3.4.6.4 LOSA DE PISO DEL EDIFICIO DEL TURBOGENERADOR A					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL	
				USD	MXP
Concreto	66.7	m ³	1900	\$9,460	\$126,768
Excavación	63.2	m ³	73	\$344	\$4,614
Acero de refuerzo	1.9	Ton	10600	\$1,482	\$19,864
Trazo y nivelación	421.3	m ²	3.5	\$110	\$1,475
TOTAL DE LA PARTIDA				\$11,397	\$152,721

3.4.6.5 LOSA DE PISO DEL EDIFICIO DEL TURBOGENERADOR B					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL	
				USD	MXP
Concreto	66.7	m ³	1900	\$9,460	\$126,768
Excavación	63.2	m ³	73	\$344	\$4,614
Acero de refuerzo	1.9	Ton	10600	\$1,482	\$19,864
Trazo y nivelación	421.3	m ²	3.5	\$110	\$1,475
TOTAL DE LA PARTIDA				\$11,397	\$152,721

3.4.6.6 LOSA DE PISO DEL EDIFICIO DEL TURBOGENERADOR C					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL	
				USD	MXP
Concreto	66.7	m ³	1900	\$9,460	\$126,768
Excavación	63.2	m ³	73	\$344	\$4,614
Acero de refuerzo	1.9	Ton	10600	\$1,482	\$19,864
Trazo y nivelación	421.3	m ²	3.5	\$110	\$1,475
TOTAL DE LA PARTIDA				\$11,397	\$152,721

 	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO				
	“ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA RESIDUAL EN UNA PLANTA GEOTÉRMICA MEDIANTE UN CICLO RANKINE ORGANICO”				
ELABORO:	RMB	A	FECHA:	25/09/2009	HOJA 64 DE 74

3.4.6.7 CUARTO DE CONTROL DEL TURBOGENERADOR A					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL	
				USD	MXP
Concreto	22.9	m ³	1900	\$3,247	\$43,510
Excavación	35.0	m ³	73	\$191	\$2,555
Relleno	16.0	m ³	375	\$448	\$6,000
Acero de refuerzo	3.1	Ton	10600	\$2,421	\$32,436
Cimbra	170.0	m ²	200	\$2,537	\$34,000
TOTAL DE LA PARTIDA				\$8,843	\$118,501

3.4.6.8 CUARTO DE CONTROL DEL TURBOGENERADOR B					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL	
				USD	MXP
Concreto	22.9	m ³	1900	\$3,247	\$43,510
Excavación	35.0	m ³	73	\$191	\$2,555
Relleno	16.0	m ³	375	\$448	\$6,000
Acero de refuerzo	3.1	Ton	10600	\$2,421	\$32,436
Cimbra	170.0	m ²	200	\$2,537	\$34,000
TOTAL DE LA PARTIDA				\$8,843	\$118,501

3.4.6.9 CUARTO DE CONTROL DEL TURBOGENERADOR C					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL	
				USD	MXP
Concreto	22.9	m ³	1900	\$3,247	\$43,510
Excavación	35.0	m ³	73	\$191	\$2,555
Relleno	16.0	m ³	375	\$448	\$6,000
Acero de refuerzo	3.1	Ton	10600	\$2,421	\$32,436
Cimbra	170.0	m ²	200	\$2,537	\$34,000
TOTAL DE LA PARTIDA				\$8,843	\$118,501

3.4.6.10 DRENAJES Y TRINCHERAS DEL EDIFICIO DEL TURBOGENERADOR A					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL	
				USD	MXP
Concreto	5.5	m ³	1900	\$780	\$10,450
Excavación	15.1	m ³	73	\$82	\$1,099
Relleno	9.6	m ³	375	\$269	\$3,608
Acero de refuerzo	0.3	Ton	10600	\$214	\$2,862
Anclas		Pzas	1400	\$0	\$0
Grout		m ³	34500	\$0	\$0
Cimbra		m ²	200	\$0	\$0
Trazo y nivelación	16.7	m ²	3.5	\$4	\$59
Acarreo	10.0	m ²	3.5	\$3	\$35
TOTAL DE LA PARTIDA				\$1,352	\$18,112

3.4.6.11 DRENAJES Y TRINCHERAS DEL EDIFICIO DEL TURBOGENERADOR B					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL	
				USD	MXP
Concreto	5.5	m ³	1900	\$780	\$10,450
Excavación	15.1	m ³	73	\$82	\$1,099
Relleno	9.6	m ³	375	\$269	\$3,608
Acero de refuerzo	0.3	Ton	10600	\$214	\$2,862
Anclas		Pzas	1400	\$0	\$0
Grout		m ³	34500	\$0	\$0
Cimbra		m ²	200	\$0	\$0
Trazo y nivelación	16.7	m ²	3.5	\$4	\$59
Acarreo	10.0	m ²	3.5	\$3	\$35
TOTAL DE LA PARTIDA				\$1,352	\$18,112

3.4.6.12 DRENAJES Y TRINCHERAS DEL EDIFICIO DEL TURBOGENERADOR C

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL	
				USD	MXP
Concreto	5.5	m ³	1900	\$780	\$10,450
Excavación	15.1	m ³	73	\$82	\$1,099
Relleno	9.6	m ³	375	\$269	\$3,608
Acero de refuerzo	0.3	Ton	10600	\$214	\$2,862
Anclas		Pzas	1400	\$0	\$0
Grout		m ³	34500	\$0	\$0
Cimbra		m ²	200	\$0	\$0
Trazo y nivelación	16.7	m ²	3.5	\$4	\$59
Acarreo	10.0	m ²	3.5	\$3	\$35
TOTAL DE LA PARTIDA				\$1,352	\$18,112

3.4.6.13 CISTERNAS

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL	
				USD	MXP
Concreto	12.9	m ³	1900	\$1,829	\$24,510
Excavación	100.5	m ³	73	\$548	\$7,337
Relleno	65.4	m ³	375	\$1,830	\$24,525
Acero de refuerzo	0.7	Ton	10600	\$546	\$7,314
Anclas		Pzas	1400	\$0	\$0
Grout		m ³	34500	\$0	\$0
Cimbra	123.6	m ²	200	\$1,845	\$24,720
Trazo y nivelación	60.8	m ²	3.5	\$16	\$213
Acarreo	35.0	m ²	3.5	\$9	\$122
TOTAL DE LA PARTIDA				\$6,622	\$88,741

3.4.7 TUBERIAS

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL	
				USD	MXP
INCLUYE TUBERIAS, CONEXIONES, SOPORTES, RAMALES Y AISLAMIENTOS	1.00	LOTE	\$2,353,000	\$214,035	\$2,868,075

3.4.8 INSTALACIÓN ELECTRICA

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL	
				USD	MXP
INCLUYE CABLEADO, TENDIDO DE TORRES, CONEXIONES, TUBERIA, TRINCHERAS, SUBESTACIONES, CUARTO DE CONTROL DE MOTORES, REGULADORES E ILUMINACIÓN.	1.00	LOTE	\$2,353,000	\$175,597	\$2,353,000

3.4.9 TERRENO

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL	
				USD	MXP
INCLUYE TERRENO, LIEMPIEZA Y NIVELADO	1.00	LOTE	\$4,000,000	\$298,507	\$4,000,000

3.4.10 IMPREVISTOS

DESCRIPCIÓN	PORCENTAJE DEL COSTO TOTAL	COSTO TOTAL	COSTO TOTAL	
			USD	MXP
PORCENTAJE DEL COSTO TOTAL POR IMPREVISTOS	2.00%	\$660,412,163	\$985,690	\$13,208,243

TOTAL	\$50,270,180	\$673,620,406
--------------	---------------------	----------------------



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

"ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA RESIDUAL EN UNA PLANTA GEOTÉRMICA MEDIANTE UN CICLO RANKINE ORGANICO"

ELABORO:	RMB	A	FECHA:	25/09/2009	HOJA 66 DE 74
----------	-----	---	--------	------------	---------------

3.5 COSTO DE INVERSIÓN DIFERIDA				
DESCRIPCIÓN	PORCENTAJE DEL COSTO TOTAL	COSTO TOTAL	COSTO TOTAL	
			USD	MXP
Asesoría y puesta en marcha	1.00%	\$656,412,163	\$489,860	\$6,564,122
Permisos y tramites	0.20%	\$656,412,163	\$97,972	\$1,312,824
Gastos de instalación	2.00%	\$656,412,163	\$979,720	\$13,128,243
Seguros	4.00%	\$656,412,163	\$1,959,439	\$26,256,487

TOTAL	\$3,526,991	\$47,261,676
--------------	--------------------	---------------------

GRAN TOTAL	\$53,797,170	\$720,882,082
-------------------	---------------------	----------------------

3.6 INGRESOS Y GASTOS DE OPERACIÓN

ENERGIA GENERADA				ENERGIA CONSUMIDA			
EQUIPO		VALOR	UNIDAD	EQUIPO		VALOR	UNIDAD
GB-100A	TURBINA A	14.16	MW	GA-100A	BOMBA DE REC.	0.3257	MW
GB-100B	TURBINA B	14.16	MW	GA-100B	BOMBA DE REC.	0.3257	MW
GB-100C	TURBINA C	14.16	MW	GA-100C	BOMBA DE REC.	0.3257	MW
				GA-101	BOMBA DE SAE.	0.1765	MW
		42.48	MW			1.1536	MW

ENERGIA TOTAL UTILIZABLE	41.3264	MW
	41326.4	kW
TOTAL DE kW/hr PARA VENTA	30168272	kW/hr
TARIFA PROMEDIO DE kW/h DURANTE EL 2009	0.474	Pesos
GENERADO EN 1 AÑO TOMANDO LA TARIFA ANTERIOR	171.59713	MM Pesos

*Las tarifas del kW/hr fueron tomadas de la pagina oficial de la CFE para alta tensión general

*La tendencia del presio del kW/hr se cálculo con una proyección a futuro de diez años lo cual es el Horizonte del Proyecto, dicha tendencia se encuentra reflejada en la grafica Tendencia en el precio del kW/hr

*El modelo que se eligio para la proyección del presio del kW/hr fue el lineal, dado que es el que más se asemeja a la tendencia sobre los costos en los últimos 7 años.

* El modelo es $Y = 0.017085X - 33.849$

	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO					
	“ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA RESIDUAL EN UNA PLANTA GEOTÉRMICA MEDIANTE UN CICLO RANKINE ORGANICO”					
	ELABORO	RMB	A	FECHA:	25/09/2009	HOJA 68 DE 74

3.7 CALCULO DE LOS INGRESOS POR AÑO

AÑO	TARIFA DEL Kw/hr	INGRESO GENERADO EN MM PESOS
2010	0.491	\$177,751,458.82
2011	0.508	\$183,905,786.31
2012	0.526	\$190,422,133.07
2013	0.543	\$196,612,662.49
2014	0.560	\$202,730,788.06
2015	0.577	\$208,885,115.56
2016	0.594	\$215,148,048.83
2017	0.611	\$221,193,770.55
2018	0.628	\$227,348,098.04
2019	0.646	\$233,719,637.09
2020	0.662	\$239,656,753.03

3.8 CALCULO DE LA VAN

DATOS	DESCRIPCIÓN
-\$720,882,082	COSTO INICIAL
10	HORIZONTE DEL PROYECTO EN AÑOS
10%	COSTO DE OPORTUNIDAD DEL CAPITAL ANUAL
\$597,963,087.95	VALOR ACTUAL NETO

3.9 CALCULO DE LA TIR

DATOS	DESCRIPCIÓN
-\$720,882,082	COSTO INICIAL
10	HORIZONTE DEL PROYECTO EN AÑOS
10%	COSTO DE OPORTUNIDAD DEL CAPITAL ANUAL
25%	TASA INTERNA DE RETORNO

Lo anterior significa que todo el capital del proyecto, como si no existiera financiamiento, arroja una rentabilidad del 25% anual constante para un período de once años, al final de los cuales se agota dicho capital. O bien, si los fondos necesarios para el proyecto (todo el capital) se pidieran prestados, la máxima tasa de interés que se podría pagar por ese financiamiento sería del 25% anual a un plazo de once años

 	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO					
	“ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA RESIDUAL EN UNA PLANTA GEOTÉRMICA MEDIANTE UN CICLO RANKINE ORGANICO”					
	ELABORO	RMB	A	FECHA:	25/09/2009	HOJA 69 DE 74

3.10 CALCULO DEL RETORNO DE LA INVERSIÓN

RESULTADO	DESCRIPCIÓN
3.45	RETORNO DE LA INVERSIÓN EN AÑOS

Si no se pide prestado el dinero, el tiempo en el que retornaría la inversión sería la anteriormente calculada.

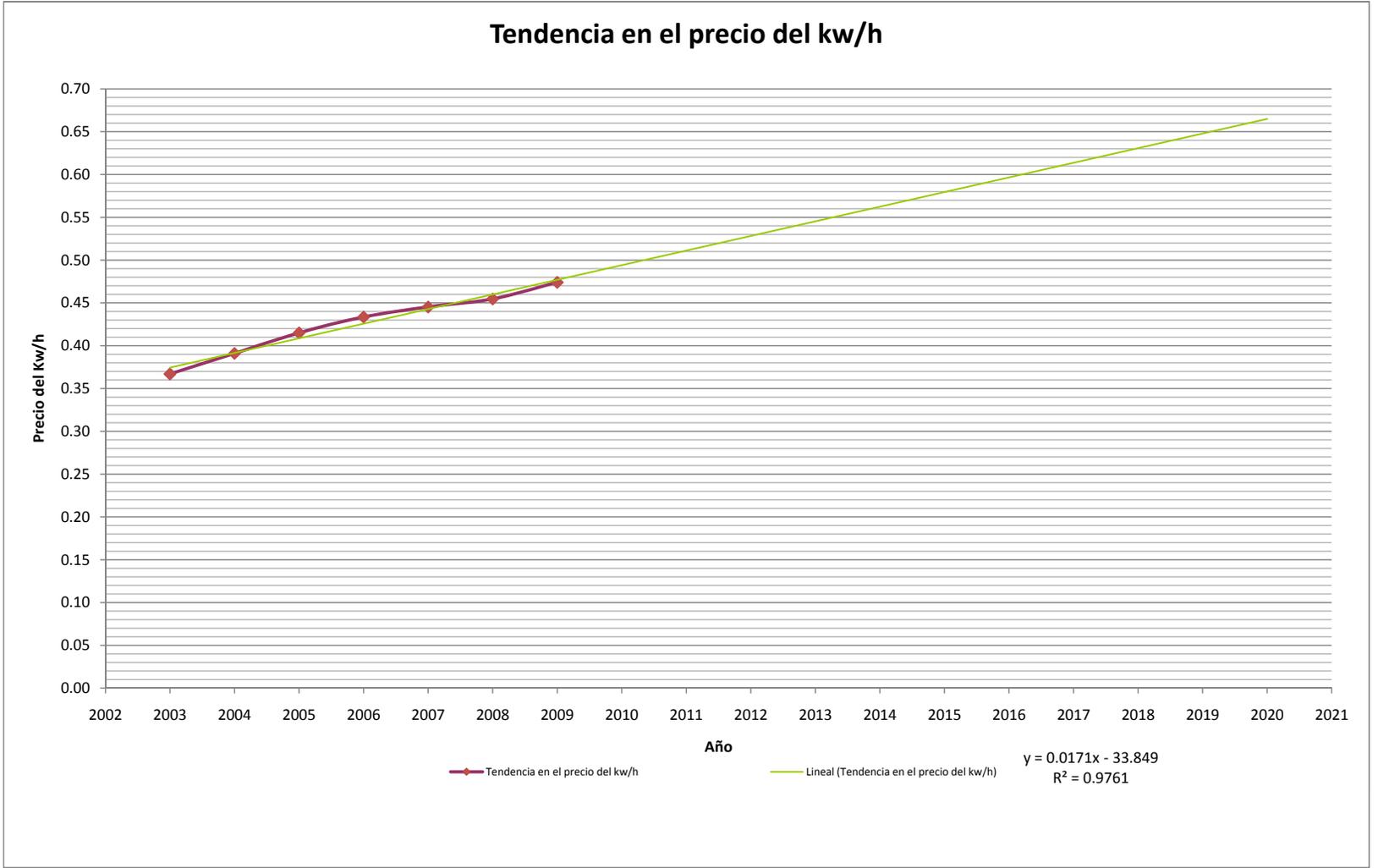
3.11 CALCULO DE LA RELACIÓN BENEFICIO - COSTO

RESULTADO	DESCRIPCIÓN
-\$720,882,082	COSTO INICIAL
10%	COSTO DE OPORTUNIDAD DEL CAPITAL ANUAL
2.90	RELACIÓN BENEFICIO - COSTO

El resultado es mayor que 1, lo cual indica que el proyecto puede ser aceptado.

 	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO				
	"ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA RESIDUAL EN UNA PLANTA GEOTÉRMICA MEDIANTE UN CICLO RANKINE ORGANICO"				
	ELABORO	RMB	A	FECHA:	25/09/2009

3.12 PRECIO DE LA ENERGIA ELECTRICA \$/kwh													
AÑO / MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROMEDIO
2009	0.463	0.465	0.467	0.469	0.471	0.473	0.475	0.477	0.479	0.481	0.483	0.485	0.474
2008	0.449	0.45	0.451	0.452	0.453	0.454	0.455	0.456	0.457	0.458	0.459	0.461	0.454583
2007	0.44	0.441	0.442	0.443	0.444	0.445	0.446	0.447	0.448	0.449	0.449	0.449	0.44525
2006	0.428	0.429	0.43	0.431	0.432	0.433	0.434	0.435	0.436	0.437	0.438	0.439	0.4335
2005	0.404	0.406	0.408	0.41	0.412	0.414	0.416	0.418	0.42	0.422	0.424	0.426	0.415
2004	0.38	0.382	0.384	0.386	0.388	0.39	0.392	0.394	0.396	0.398	0.4	0.402	0.391
2003	0.356	0.358	0.36	0.362	0.364	0.366	0.368	0.37	0.372	0.374	0.376	0.378	0.367



CONCLUSIONES.

A fin de completar esta tesis es necesario revisar los resultados obtenidos a partir del proceso realizado. La forma más simple es analizar los objetivos planteados y determinar el grado de éxito alcanzado durante su ejecución. Asimismo, es recomendable partir de los fundamentos para la realización de esta tesis. Tal como se describe en el capítulo uno, el fundamento para la existencia de la termodinámica es la conversión de la energía calorífica en trabajo o energía utilizable.

El enunciado anterior justifica la búsqueda de desarrollos que permitan optimizar los parámetros de operación para las instalaciones destinadas para este propósito.

Se determinó que el mejor fluido orgánico para este ciclo y particularmente para este proceso es el amoníaco ya que el cambio de entalpías es favorable dado el pequeño cambio de temperaturas que sufre (comparado con otros procesos de cogeneración).

Se propuso un separador flash bifásico con fondos en forma de cono con la finalidad de hacer que las sales contenidas en el líquido se saturen ante la separación flash y posteriormente decanten sin incrustarse en el separador.

Con el proceso propuesto se logró generar 42.47 MW de energía a partir de tres turbinas de contrapresión.

Para llevar a cabo el desarrollo del proyecto se tendría que hacer un gasto superior a los 720 MM pesos, sin embargo la inyección de este flujo energético a la red de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) proporcionaría ingresos por más de 177 MM de pesos anuales tomando en cuenta el precio más bajo por kW/hr;

De esta forma la inversión inicial se recuperaría en menos de 4 años teniendo una tasa interna de retorno (TIR) en once años del 25%, con un valor actual neto de 597,963,087.95 pesos y una relación Beneficio – Costo igual a 2.9.

Por lo cual se encuentra el proyecto económicamente viable.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

“ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA RESIDUAL EN UNA PLANTA GEOTÉRMICA MEDIANTE UN CICLO RANKINE ORGÁNICO”

ELABORÓ: R.M.B.

FECHA: AGOSTO/2009

HOJA 72 DE 74

BIBLIOGRAFIA.

- ASHRAE. 2008. ASHRAE Handbook – HVAC Systems and Equipment, chapter 42.
- Borsukiewicz-Gozdur, A., W. Nowak. 2007. Comparative analysis of natural and synthetic refrigerants in application to low temperature Clausius-Rankine cycle. *Energy* (32): 344-352.
- Technological and Economical Survey of Organic Rankine Cycle Systems
- Sylvain Quoilin and Vincent Lemort, Thermodynamics Laboratory University of Liège Campus du Sart Tilman B49 B-4000 Liège, BELGIUM
- Supercritical Fluid Parameters in Organic Rankine Cycle Applications Int. J. of Thermodynamics ISSN 1301-9724 Vol. 11 (No. 3), pp. 101-108, September 2008
- Recent development in the application of kalina cycle for geothermal plants, Kalina, H. Leibowitz exergy inc., Hayward, Cal., USA
- Foust A.S., et al, “Principios de operaciones Unitarias” CECSA, México 1980, p.704.
- CRANE “Flow of fluids through valves fittings an pipe” Technical paper No. 410 sixteenth printing, 1976.
- Smith J.M., H.C. Van Ness, “introducción a la termodinámica en ingeniería química” 4ª ed., McGraw Hill, México 1994, p. 718.
- Instrumentation Symbols and Identification, ANSI/ISA- S 5.1 – 1984 (R. 1992) USA 1992.
- Perry H. Robert, Don W. Green “Manual del Ingeniero Químico”, Séptima edición (cuarta edición en español), Mc Graw Hill, España 2001.
- GPSA Engineering Data Book , 11th edition, FPS volume 1 and 2



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

“ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA RESIDUAL EN UNA PLANTA GEOTÉRMICA MEDIANTE UN CICLO RANKINE ORGÁNICO”

ELABORÓ: R.M.B.

FECHA: AGOSTO/2009

HOJA 73 DE 74

- Branam Carl “Rules of thumb for chemical engineers, A manual of quick, accurate solutions to everyday process engineering problems”, third edition, Gulf Professional Publishing an Imprint of Elsevier Science.
- Power Engineering training systems, “Handbook of formulae and physical constants”
- Karassik Igor J. “Pump handbook”, Third edition, Mcgraw-Hill
- Ellenberger Phillip, “ Pressure vessels, the ASME code simplified”, Eight edition, Mcgraw- Hill Professional Engineering.
- Gordon Bolegoh, Pumps, a reference Guide”, Third edition, Ontario Power Generation
- Kern Donald, “Procesos de transferencia de calor”, Compañía editorial continental, S. A. de C.V.
- NIST National Institute of Standards and technology, 2008 by the U.S. Secretary of Commerce on behalf of the United States of America.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

“ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA RESIDUAL EN UNA PLANTA GEOTÉRMICA MEDIANTE UN CICLO RANKINE ORGÁNICO”

ELABORÓ: R.M.B.

FECHA: AGOSTO/2009

HOJA 74 DE 74

NOMENCLATURA			
VARIABLE	INTERPRETACIÓN	UNIDADES	
		SIS. METRICO	SIS. INGLES
X	Porcentaje en peso vaporizado	Adim.	
H _{ls}	Entalpia del líquido a la presión superior	kJ/kg	Btu/lb
H _{lf}	Entalpia del líquido a la presión de flasheo	kJ/kg	Btu/lb
H _{vf}	Entalpia del vapor a la presión de flasheo	kJ/kg	Btu/lb
Q	Cantidad de calor intercambiado	kJ/hr	Btu/hr
M	Flujo másico del fluido	kg/hr	lb/hr
C _p	Calor específico del fluido a T y P	kJ/kgK	Btu/lbR
ΔT	Cambio de temperatura	°C	°F
ΔH	Cambio de entalpía	kJ/kg	Btu/lb
MW	Potencia	MW	HP
m _{1A}	Cantidad de vapor sobrecalentado entrante	kg/hr	lb/hr
h _{1A}	Entalpia de vapor de entrada @ P y T	kJ/kg	Btu/lb
h _{2A}	Entalpia de vapor salida @ P y T	kJ/kg	Btu/lb
η	Eficiencia isoentropica de la turbina	Adim.	Adim.
Q	Gasto	m ³ /hr	GPM
d	Diámetro interno de la tubería	mm	in
v	Velocidad del fluido	m/seg	ft/seg
ρ	Densidad	kg/m ³	lb/ft ³
μ	Viscosidad	cP	
L _{EQV}	Longitud Equivalente	m	ft
L _{RECTA}	Longitud recta	m	ft
(L/D)	Longitud unitaria por elemento.	Adim.	Adim.
(L/D) _{MISC.}	Longitud unitaria miscelánea	Adim.	Adim.
ε	Rugosidad	Adim.	Adim.
Re	Número de Reynolds	Adim.	Adim.
f	Factor de fricción	Adim.	Adim.
ΔP	Caída de presión	kg _f /cm ²	lb _f /in ²
h _{fs}	Caída de presión por tubería y accesorios a la succión de una bomba.	m	ft
		kg _f /cm ²	lb _f /in ²
h _{fd}	Caída de presión por tubería y accesorios a la descarga de una bomba.	m	ft
		kg _f /cm ²	lb _f /in ²
P _{suc.}	Presión de succión de una bomba	kg _f /cm ²	lb _f /in ²
P _{des.}	Presión de descarga de una bomba	kg _f /cm ²	lb _f /in ²
H	Cabeza diferencial total	m	ft
BHP	Potencia al freno	KW	HP



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

“ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA RESIDUAL EN UNA PLANTA GEOTÉRMICA MEDIANTE UN CICLO RANKINE ORGÁNICO”

ELABORÓ: R.M.B.

FECHA: AGOSTO/2009

HOJA 8 DE 74

NPSH_A	Cabeza positiva neta de succión disponible	m	ft
Z	Elevación	m	ft
P^A	Presión atmosférica	kg _f /cm ² (a)	lb _f /in ² (a)
P^o	Presión de vapor	kg _f /cm ² (a)	lb _f /in ² (a)
Sg	Gravedad específica	Adim.	Adim.
F	Factor de sobrediseño	Adim.	Adim.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

“ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA RESIDUAL EN UNA PLANTA GEOTÉRMICA MEDIANTE UN CICLO RANKINE ORGÁNICO”

ELABORÓ: R.M.B.

FECHA: AGOSTO/2009

HOJA 9 DE 74



NOMBRE DEL DOCUMENTO

CLAVE DEL DOCUMENTO

REV.

**BALANCES DE MATERIA Y ENERGIA
CICLO RANKINE ORGANICO**

ANEXO A

A

PLANTA

DEPARTAMENTO

AREA

CERRO PRIETO

PROCESO

**VAPOR Y GENERACION DE
ENERGIA**

No DE PROYECTO

CLIENTE

LOCALIZACION

MONT-001

BAJA CALIFORNIA, MEXICO

ESPECIALIDAD

TIPO DE DOCUMENTO

PROCESO

MEMORIA DE CALCULO

REV.

FECHA

DESCRIPCION DE LA REVISION

COMPAÑIA GENERADORA

CLIENTE

ELABORO

REVISO

APROBO

APROBO

FECHA

A

23/08/09

PARA REVISION Y/O COMENTARIOS

RMB

DOB

INDICE

- 1.0 OBJETIVO
- 2.0 GENERALIDADES
- 3.0 ALCANCE
- 4.0 CONDICIONES AMBIENTALES
- 5.0 METODO DE CALCULO
- 6.0 DESARROLLO
 - 6.1 BALANCE GENERAL
 - 6.2 BALANCE PARTICULAR PARA TRES PAQUETES
- 7.0 TABLAS DEL BALANCE
 - 7.1 BALANCE GENERAL
 - 7.2 BALANCE PARTICULAR PARA TRES PAQUETES



"UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO"

**BALANCES DE MATERIA Y ENERGIA
CICLO RANKINE ORGANICO**

ANEXO A

ELABORO: RMB

REV No: A

FECHA: 23/08/2009

HOJA 2 DE 9

1.0 OBJETIVO

El objetivo del presente documento es presentar el balance de materia y energía para el sistema de cogeneración propuesto a partir de un ciclo rankine organico para la recuperación de calor de desperdicio de una planta geotermica.

Con el balance de materia y energía a las condiciones descritas, se tendrán las consideraciones máximas para el dimensionamiento de tubería, equipo y selección de instrumentos a instalarse en el sistema.

2.0 GENERALIDADES

En la planta geotérmica, el agua proveniente de los pozos se lleva a una separación flash, la cual se lleva a cabo a la saliente de cada pozo para separar el vapor y transportarlo a los generadores, por otro lado el condensado de los fondos de esta separación es un flujo muy grande el cual aún tiene una alta temperatura, dicho condensado actualmente se manda a una laguna de secado solar, dejando sin aprovechamiento la energía calorífica residual del fluido.

De esta manera surge la necesidad de evaluar el potencial calorifico que es capaz de otorgar el efluente de desperdicio de la geotermica con el proposito de tener un mayor aprovechamiento del calor y menores costos operativos con una mayor eficiencia de producción de energía eléctrica

3.0 ALCANCE.

- Balance general de materia y energía para 1,500 Ton/hr de efluente de desperdicio
- Dimensionamiento de líneas y equipo principales
- En caso de que las líneas y el equipo principal resultacen muy grandes para ser manejado en un solo equipo, se dividira el flujo para tener equipos en paralelo y se rehará el BME para este nuevo caso

4.0 CONDICIONES AMBIENTALES

Sitio:	Planta geotermica Cerro prieto
Localización geográfica:	Mexicali, Baja California Norte
Altura sobre el nivel del mar	11 msnm
Presión atmosférica:	760.00 mmHg 1.01 bar
Temperatura anual media:	24.2°C
Temperatura anual máxima media:	31.7°C
Temperatura anual mínima media:	15.9°C
Precipitación pluvial máxima en 1hr	45,6mm



"UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO"

BALANCES DE MATERIA Y ENERGIA CICLO RANKINE ORGANICO

ANEXO A

ELABORO: RMB

REV No: A

FECHA: 23/08/2009

HOJA 3 DE 9

5.0 METODO DE CALCULO

El método de cálculo empleado para el balance involucra los siguientes pasos:

1. Establecer la presión de flasheo para la recuperación de vapor de los condensados de desperdicio
2. Seleccionar las condiciones de presión y temperatura de alimentación al turbogenerador.
3. Dimensionar los equipos y seleccionar el número de equipos necesarios para el proceso.

CALCULO DEL PORCENTAJE DE VAPORIZACION DURANTE EL FLASHEO

La evaporación flash de un solo componente es un proceso isoentalpico, por lo cual se considera este equipo como un flash adiabatico

$$X = \frac{(H_{ls} - H_{lf})}{(H_{vf} - H_{ls})} \times 100$$

X	Porcentaje en peso vaporizado	[=]	Adim.
H _{ls}	Entalpia del líquido a la presión superior	[=]	kJ/kg
H _{lf}	Entalpia del líquido a la presión de flasheo	[=]	kJ/kg
H _{vf}	Entalpia del vapor a la presión de flasheo	[=]	kJ/kg

CALCULO DE LA CANTIDAD DE CALOR INTERCAMBIADO

SIN CAMBIO DE FASE

CON CAMBIO DE FASE

$$Q = mcp\Delta T$$

$$Q = m\Delta H$$

Q	Cantidad de calor intercambiado	[=]	kJ/hr
m	Flujo masico del fluido	[=]	kgv/hr
cp	Calor especifico del fluido a T y P	[=]	kJ/kgK
ΔT	Cambio de temperaturas	[=]	°C
ΔH	Cambio de entalpias	[=]	kJ/kg

PARA CONOCER LA CANTIDAD DE FLUIDO ORGANICO QUE ES CAPAZ DE CALENTAR EL VAPOR DE AGUA FLASHEADO

Una vez que se ha calculado la cantidad de vapor que proviene del separador a las condiciones de P y T se calcula el calor que es capaz de donar durante su condensación.

Posteriormente se igualan calores entre el de condensación del vapor y el del calentamiento del fluido organico, por lo tanto: Q₁ = Q₂

$$m_{Organico} \Delta H_{Organico} = m_{Vapor} \Delta H_{Condensación}$$

Despejando el flujo del fluido organico

$$m_{Organico} = \frac{m_{Vapor} (h_{Vapor} - h_{Condensado})}{(h_{Organico2} - h_{Organico1})}$$



"UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO"

BALANCES DE MATERIA Y ENERGIA CICLO RANKINE ORGANICO

ANEXO A

ELABORO: RMB | REV No: A | FECHA: 23/08/2009 | HOJA 4 DE 9

5.0 METODO DE CALCULO (cont.)

CALCULO DE LA CANTIDAD DE ENERGIA QUE SE PRODUCE EN EL TURBOGENERADOR

$$MW = \frac{m_{1A}(h_{1A} - h_{2A})}{(3600 \times 1000)} \times \eta_{TURBINA}$$

MW	Cantidad de energía producida en e turbogenerador	[=]	MW
m _{1A}	Cantidad de vapor sobrecalentado de entrada a la turbina	[=]	kg/h
h _{1A}	Entalpia de vapor de entrada @ P y T	[=]	kJ/kg
h _{2A}	Entalpia de vapor salida @ P y T	[=]	kJ/kg
η	Eficiencia isoentropica de la turbina	[=]	Adim.

PARA EL DIAMETRO DE LA TUBERIA

VELOCIDAD $v = 0.5476 \frac{Q}{d^2}$

DIAMETRO $d = \sqrt{0.5476 \frac{Q}{v}}$

No DE REYNOLDS $Re = 13.9 \frac{Q \rho}{d \mu}$

LONGITUD EQUIVALENTE $L_{EQV} = L_{RECTA} + \sum_i^n X^{Ac_i} * \left(\frac{L}{D}\right) * D + \sum_i^n \left(\frac{L}{D}\right)_{Misc} * D$

Q	Gasto	[=]	m ³ /hr
d	Diametro interno de la tuberia	[=]	in
v	Velocidad del fluido	[=]	m/seg
ρ	Densidad	[=]	kg/m ³
μ	Viscocidad	[=]	cp
L _{EQV}	Longitud Equivalente	[=]	m
L _{RECTA}	Longitud recta	[=]	m

Subíndices de la i a la n son todos los elementos (codos, tee's, etc.)

(L/D) Long. Unitaria Adimensional (POR ELEMENTO)

(L/D)_{MISC.} Adimensional (MISCELANEA)



"UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO"

**BALANCES DE MATERIA Y ENERGIA
CICLO RANKINE ORGANICO**

ANEXO A

ELABORO: RMB

REV No: A

FECHA: 23/08/2009

HOJA 5 DE 9

5.0 METODO DE CALCULO (cont)

PARA LA CAIDA DE PRESION

$$\Delta P_{\text{fric.}} = \frac{f L \rho Q^2}{16506.17 * d^5}$$

FACTOR DE FRICCION

$$f = \left(A - \frac{(B - A)^2}{C - 2B + A} \right)^{-2}$$

$$A = -2.0 \log \left(\frac{12 \varepsilon}{3.7 d} + \frac{12}{Re} \right)$$

$$B = -2.0 \log \left(\frac{12 \varepsilon}{3.7 d} + \frac{2.51 A}{Re} \right)$$

$$C = -2.0 \log \left(\frac{12 \varepsilon}{3.7 d} + \frac{2.51 B}{Re} \right)$$

ε	Rugosidad	[=]	Adim.
Re	Numero de reynolds	[=]	Adim.
f	Factor de fricción	[=]	Adim.
ΔP	Caida de presión por fricción	[=]	kg/cm ²

PARA EL EQUIPO DE BOMBEO

VARIABLE	ECUACION	UNIDAD	DONDE:	UNIDADES
PRESION POR TUBERIA Y ACCESORIOS SUC.	$h_{fs} = \Delta P_{\text{fric.}} + \Delta P_{\text{INST}} + \Delta P_{\text{EQUIPOS}}$	kg/cm ²	ΔP : CAIDA DE PRES	kg/cm ²
PRESION POR TUBERIA Y ACCESORIOS	$h_{fd} = \Delta P_{\text{fric.}} + \Delta P_{\text{INST}} + \Delta P_{\text{EQUIPOS}}$	kg/cm ²		
PRESION DE SUCCION	$P_{\text{suc.}} = P_{\text{ops.}} - F \Delta P_{\text{fric}} + \frac{(Z_1 - Z_2) \rho}{10,000}$	kg/cm ²	Z ₁ : ELEV. INICIAL Z ₂ : ELEV. FINAL	m m
PRESION DE DESCARGA	$P_{\text{desc.}} = P_{\text{opd.}} + F \Delta P_{\text{fric}} - \frac{(Z_1 - Z_2) \rho}{10,000}$	kg/cm ²	F: SOBREDISEÑO (F TIPICO 15%)	%
CABEZA TOTAL	$H = \frac{\Delta P_T \times 10}{Sg}$	m	ΔP_T : P _{desc.} - P _{suc.} Sg: GRAV. ESPECIF	kg/cm ² adim.
POTENCIA AL FRENO	$BHP = \frac{HQ Sg}{367.44 \eta}$	Kw	η : EFICIENCIA	
CABEZA DE SUCCION DISPONIBLE	$NPSH_A = (P_{\text{suc.}} + P^A - P^\circ) * 10$	m (agua)	P ^A : Pres. atmosf. P [°] : Pres. de vapor	kg/cm ² abs. kg/cm ² abs.



"UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO"

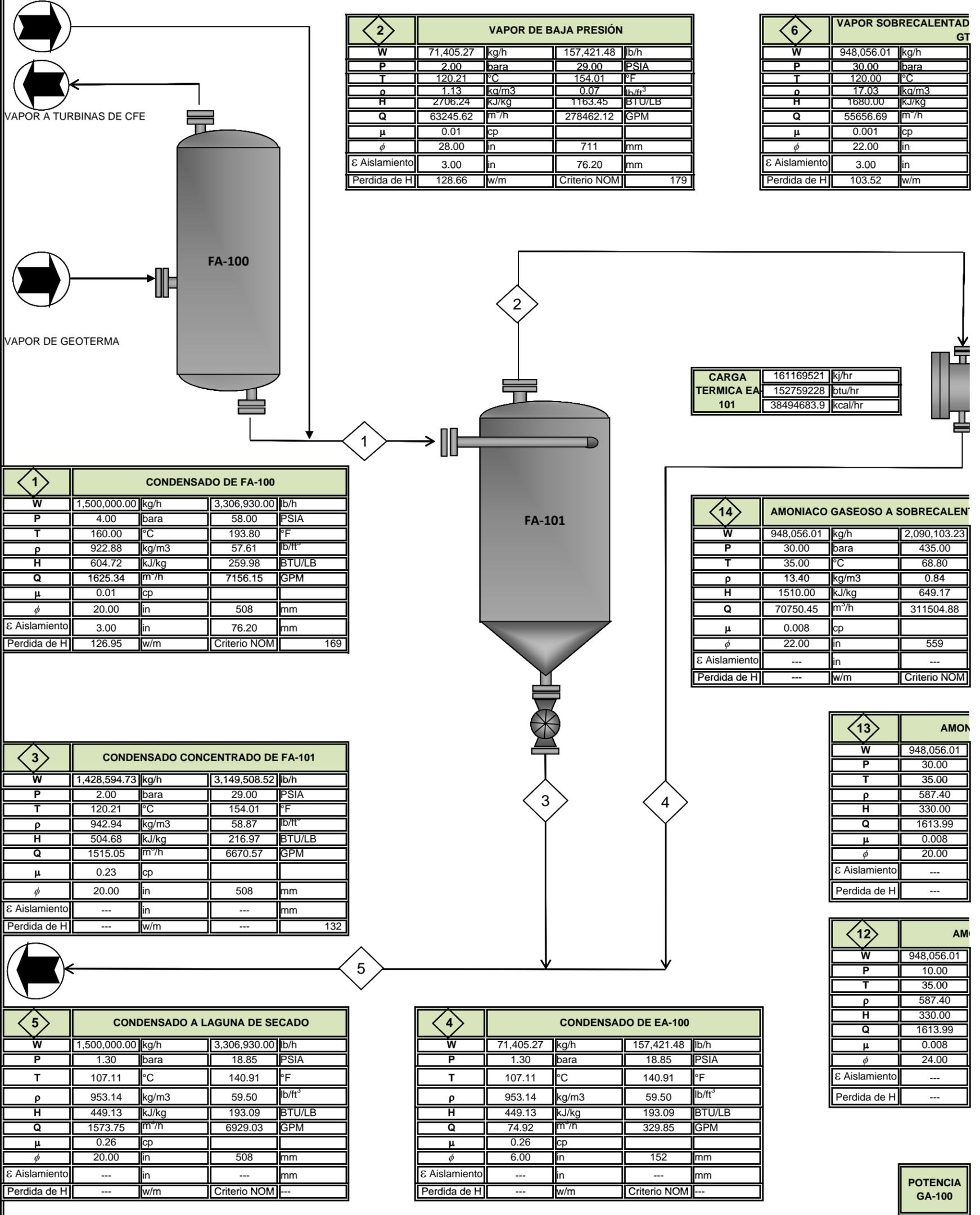
**BALANCES DE MATERIA Y ENERGIA
CICLO RANKINE ORGANICO**

ANEXO A

ELABORO: RMB REV No: A FECHA: 23/08/2009 HOJA 6 DE 9

6.0 BALANCE DE MATERIA Y ENERGIA "RECUPERACION"

CONDENSADOS DE LOS POZOS RESTANTES



2	VAPOR DE BAJA PRESIÓN			
W	71,405.27	kg/h	157,421.48	lb/h
P	2.00	bara	29.00	PSIA
T	120.21	°C	154.01	°F
ρ	1.13	kg/m ³	0.07	lb/ft ³
H	2706.24	kJ/kg	1163.45	BTU/LB
Q	63245.62	m ³ /h	278462.12	GPM
μ	0.01	cp		
φ	28.00	in	711	mm
ε Aislamiento	3.00	in	76.20	mm
Perdida de H	128.66	w/m	Criterio NOM	179

6	VAPOR SOBREALENTADO			
W	948,056.01	kg/h		
P	30.00	bara		
T	120.00	°C		
ρ	17.03	kg/m ³		
H	1680.00	kJ/kg		
Q	55656.69	m ³ /h		
μ	0.001	cp		
φ	22.00	in		
ε Aislamiento	3.00	in		
Perdida de H	103.52	w/m		

CARGA TERMICA EA 101		
	161169521	kJ/hr
	152759228	btu/hr
	38494683.9	kcal/hr

14	AMONIACO GASEOSO A SOBREALENTADO			
W	948,056.01	kg/h	2,090,103.23	
P	30.00	bara	435.00	
T	35.00	°C	68.80	
ρ	13.40	kg/m ³	0.84	
H	1510.00	kJ/kg	649.17	
Q	70750.45	m ³ /h	311504.88	
μ	0.008	cp		
φ	22.00	in	559	
ε Aislamiento	---	in	---	
Perdida de H	---	w/m	Criterio NOM	

1	CONDENSADO DE FA-100			
W	1,500,000.00	kg/h	3,306,930.00	lb/h
P	4.00	bara	58.00	PSIA
T	160.00	°C	193.80	°F
ρ	922.88	kg/m ³	57.61	lb/ft ³
H	604.72	kJ/kg	259.98	BTU/LB
Q	1625.34	m ³ /h	7156.15	GPM
μ	0.01	cp		
φ	20.00	in	508	mm
ε Aislamiento	3.00	in	76.20	mm
Perdida de H	126.95	w/m	Criterio NOM	169

3	CONDENSADO CONCENTRADO DE FA-101			
W	1,428,594.73	kg/h	3,149,508.52	lb/h
P	2.00	bara	29.00	PSIA
T	120.21	°C	154.01	°F
ρ	942.94	kg/m ³	58.87	lb/ft ³
H	504.68	kJ/kg	216.97	BTU/LB
Q	1515.05	m ³ /h	6670.57	GPM
μ	0.23	cp		
φ	20.00	in	508	mm
ε Aislamiento	---	in	---	mm
Perdida de H	---	w/m	---	132

13	AMONIACO GASEOSO A SOBREALENTADO			
W	948,056.01	kg/h		
P	30.00	bara		
T	35.00	°C		
ρ	587.40	kg/m ³		
H	330.00	kJ/kg		
Q	1613.99	m ³ /h		
μ	0.008	cp		
φ	20.00	in		
ε Aislamiento	---	in	---	
Perdida de H	---	w/m	---	

12	AMONIACO GASEOSO A SOBREALENTADO			
W	948,056.01	kg/h		
P	10.00	bara		
T	35.00	°C		
ρ	587.40	kg/m ³		
H	330.00	kJ/kg		
Q	1613.99	m ³ /h		
μ	0.008	cp		
φ	24.00	in		
ε Aislamiento	---	in	---	
Perdida de H	---	w/m	---	

5	CONDENSADO A LAGUNA DE SECADO			
W	1,500,000.00	kg/h	3,306,930.00	lb/h
P	1.30	bara	18.85	PSIA
T	107.11	°C	140.91	°F
ρ	953.14	kg/m ³	59.50	lb/ft ³
H	449.13	kJ/kg	193.09	BTU/LB
Q	1573.75	m ³ /h	6929.03	GPM
μ	0.26	cp		
φ	20.00	in	508	mm
ε Aislamiento	---	in	---	mm
Perdida de H	---	w/m	Criterio NOM	---

4	CONDENSADO DE EA-100			
W	71,405.27	kg/h	157,421.48	lb/h
P	1.30	bara	18.85	PSIA
T	107.11	°C	140.91	°F
ρ	953.14	kg/m ³	59.50	lb/ft ³
H	449.13	kJ/kg	193.09	BTU/LB
Q	74.92	m ³ /h	329.85	GPM
μ	0.26	cp		
φ	6.00	in	152	mm
ε Aislamiento	---	in	---	mm
Perdida de H	---	w/m	Criterio NOM	---

POTENCIA GA-100



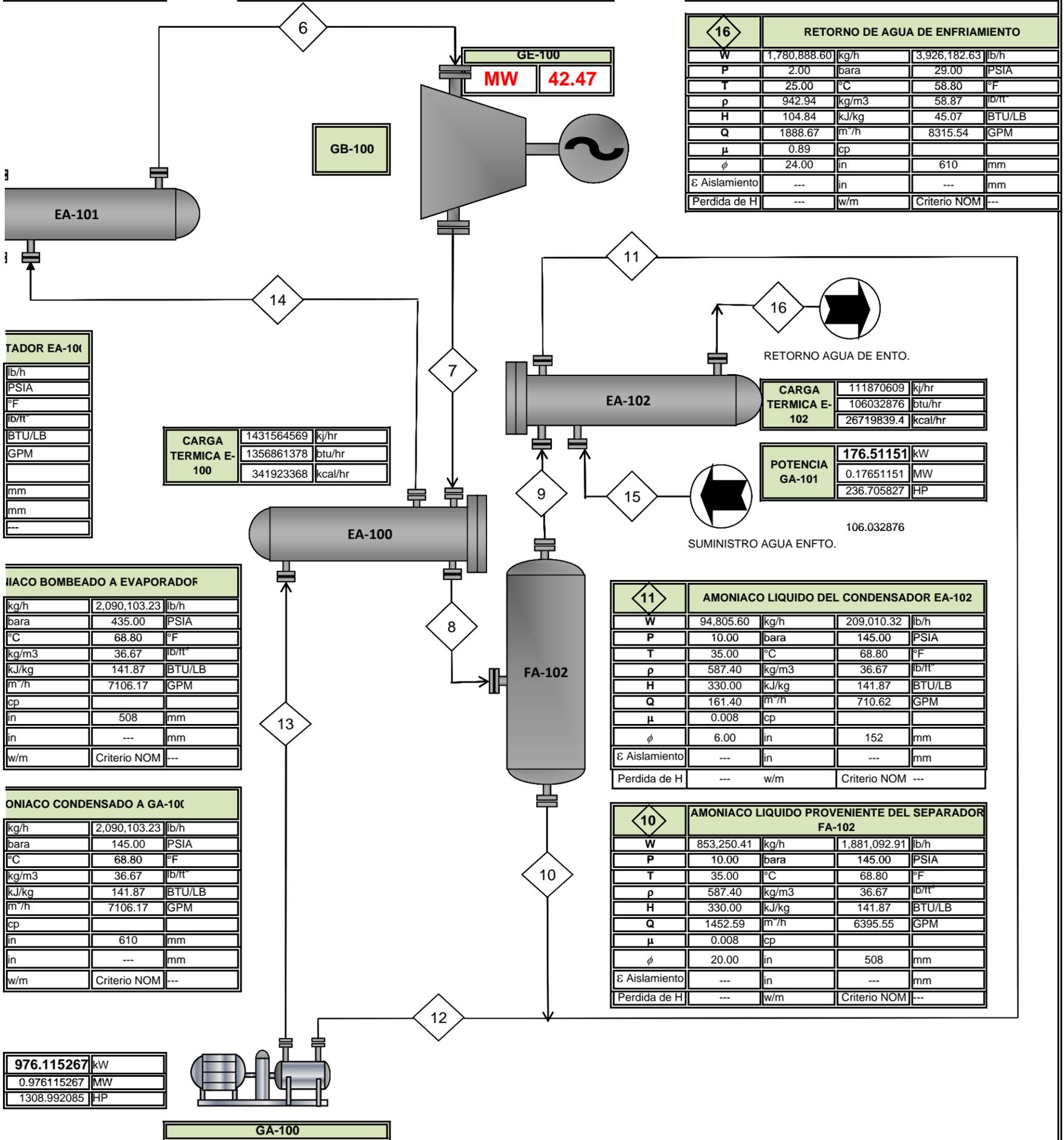
BALANCE DE MATERIA Y ENERGIA

DE CALOR PARA LA GEOTERMICA DE CERRO PRIETO"

O DE AMONIACO A TURBINA -001	
2,090,103.23	lb/h
435.00	PSIA
248.00	°F
1.06	lb/ft ³
722.26	BTU/LB
245049.05	GPM
559	mm
76.20	mm
Criterio NOM	143

VAPOR EXAHUSTO DE AMONIACO DE TURBINA GT-001				
W	948,056.01	kg/h	2,090,103.23	lb/h
P	10.00	bara	145.00	PSIA
T	35.00	°C	68.80	°F
ρ	7.38	kg/m ³	0.46	lb/ft ³
H	1510.00	KJ/kg	649.17	BTU/LB
Q	128462.87	m ³ /h	565605.07	GPM
μ	0.008	cp		
φ	22.00	in	559	mm
ε Aislamiento	3.00	in	76.20	mm
Perdida de H	30.19	w/m	Criterio NOM	0

SUMINISTRO DE AGUA DE ENFRIAMIENTO				
W	1,780,888.60	kg/h	3,926,182.63	lb/h
P	5.00	bara	72.50	PSIA
T	10.00	°C	43.80	°F
ρ	915.28	kg/m ³	57.14	lb/ft ³
H	42.02	KJ/kg	18.07	BTU/LB
Q	1945.72	m ³ /h	8566.76	GPM
μ	1.31	cp		
φ	24.00	in	610	mm
ε Aislamiento	1.00	in	25.40	mm
Perdida de H	23.19	w/m	Criterio NOM	0



AMONIACO A SEPARADOR FA-102				
W	948,056.01	kg/h	2,090,103.23	lb/h
P	10.00	bara	145.00	PSIA
T	35.00	°C	68.80	°F
ρ	587.40	kg/m ³	36.67	lb/ft ³
H	330.00	KJ/kg	141.87	BTU/LB
Q	1613.99	m ³ /h	7106.17	GPM
μ	0.008	cp		
φ	20.00	in	508	mm
ε Aislamiento	---	in	---	mm
Perdida de H	---	w/m	Criterio NOM	---

AMONIACO GASEOSO A CONDENSADOR EA-102				
W	94,805.60	kg/h	209,010.32	lb/h
P	10.00	bara	145.00	PSIA
T	35.00	°C	68.80	°F
ρ	7.38	kg/m ³	0.46	lb/ft ³
H	1510.00	KJ/kg	649.17	BTU/LB
Q	12846.29	m ³ /h	56560.51	GPM
μ	0.008	cp		
φ	22.00	in	559	mm
ε Aislamiento	---	in	---	mm
Perdida de H	---	w/m	Criterio NOM	---

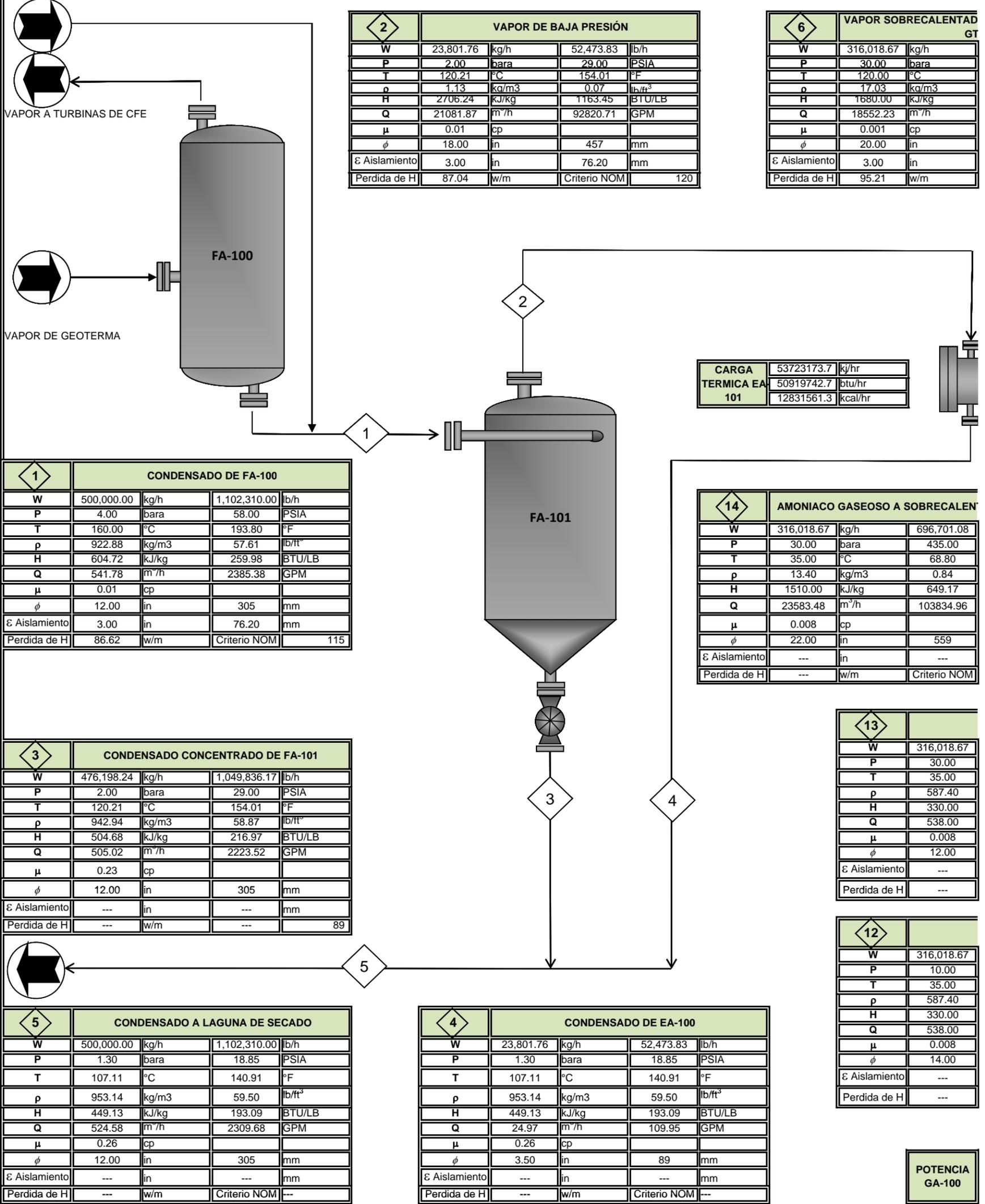
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO"

ICES DE MATERIA Y ENERGIA
CICLO RANKINE ORGANICO

ANEXO A

6.0 BALANCE DE MATERIA Y ENERGIA "RECUPERACION"

CONDENSADOS DE LOS POZOS RESTANTES



2 VAPOR DE BAJA PRESIÓN				
W	23,801.76	kg/h	52,473.83	lb/h
P	2.00	bara	29.00	PSIA
T	120.21	°C	154.01	°F
ρ	1.13	kg/m ³	0.07	lb/ft ³
H	2706.24	kJ/kg	1163.45	BTU/LB
Q	21081.87	m ³ /h	92820.71	GPM
μ	0.01	cp		
φ	18.00	in	457	mm
ε Aislamiento	3.00	in	76.20	mm
Perdida de H	87.04	w/m	Criterio NOM	120

6 VAPOR SOBRECALENTAD GT				
W	316,018.67	kg/h		
P	30.00	bara		
T	120.00	°C		
ρ	17.03	kg/m ³		
H	1680.00	kJ/kg		
Q	18552.23	m ³ /h		
μ	0.001	cp		
φ	20.00	in		
ε Aislamiento	3.00	in		
Perdida de H	95.21	w/m		

1 CONDENSADO DE FA-100				
W	500,000.00	kg/h	1,102,310.00	lb/h
P	4.00	bara	58.00	PSIA
T	160.00	°C	193.80	°F
ρ	922.88	kg/m ³	57.61	lb/ft ³
H	604.72	kJ/kg	259.98	BTU/LB
Q	541.78	m ³ /h	2385.38	GPM
μ	0.01	cp		
φ	12.00	in	305	mm
ε Aislamiento	3.00	in	76.20	mm
Perdida de H	86.62	w/m	Criterio NOM	115

3 CONDENSADO CONCENTRADO DE FA-101				
W	476,198.24	kg/h	1,049,836.17	lb/h
P	2.00	bara	29.00	PSIA
T	120.21	°C	154.01	°F
ρ	942.94	kg/m ³	58.87	lb/ft ³
H	504.68	kJ/kg	216.97	BTU/LB
Q	505.02	m ³ /h	2223.52	GPM
μ	0.23	cp		
φ	12.00	in	305	mm
ε Aislamiento	---	in	---	mm
Perdida de H	---	w/m	---	89

5 CONDENSADO A LAGUNA DE SECADO				
W	500,000.00	kg/h	1,102,310.00	lb/h
P	1.30	bara	18.85	PSIA
T	107.11	°C	140.91	°F
ρ	953.14	kg/m ³	59.50	lb/ft ³
H	449.13	kJ/kg	193.09	BTU/LB
Q	524.58	m ³ /h	2309.68	GPM
μ	0.26	cp		
φ	12.00	in	305	mm
ε Aislamiento	---	in	---	mm
Perdida de H	---	w/m	Criterio NOM	---

4 CONDENSADO DE EA-100				
W	23,801.76	kg/h	52,473.83	lb/h
P	1.30	bara	18.85	PSIA
T	107.11	°C	140.91	°F
ρ	953.14	kg/m ³	59.50	lb/ft ³
H	449.13	kJ/kg	193.09	BTU/LB
Q	24.97	m ³ /h	109.95	GPM
μ	0.26	cp		
φ	3.50	in	89	mm
ε Aislamiento	---	in	---	mm
Perdida de H	---	w/m	Criterio NOM	---

CARGA TERMICA EA 101		
W	53723173.7	kJ/hr
H	50919742.7	btu/hr
Q	12831561.3	kcal/hr

14 AMONIACO GASEOSO A SOBRECALEN				
W	316,018.67	kg/h	696,701.08	
P	30.00	bara	435.00	
T	35.00	°C	68.80	
ρ	13.40	kg/m ³	0.84	
H	1510.00	kJ/kg	649.17	
Q	23583.48	m ³ /h	103834.96	
μ	0.008	cp		
φ	22.00	in	559	
ε Aislamiento	---	in	---	
Perdida de H	---	w/m	Criterio NOM	

13	
W	316,018.67
P	30.00
T	35.00
ρ	587.40
H	330.00
Q	538.00
μ	0.008
φ	12.00
ε Aislamiento	---
Perdida de H	---

12	
W	316,018.67
P	10.00
T	35.00
ρ	587.40
H	330.00
Q	538.00
μ	0.008
φ	14.00
ε Aislamiento	---
Perdida de H	---

POTENCIA GA-100



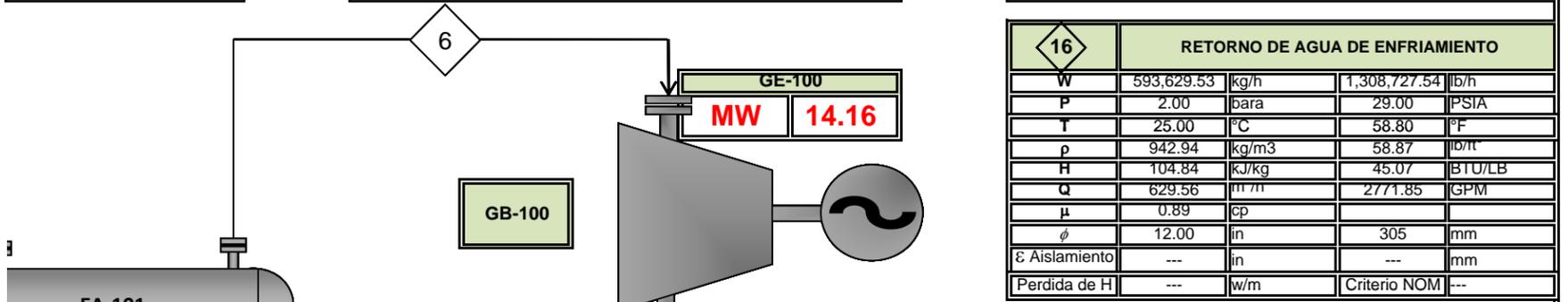
**BALAN
CIC**

DE CALOR PARA LA GEOTERMICA DE CERRO PRIETO"

VAPOR DE AMONIACO A TURBINA GT-001	
W	696,701.08 lb/h
P	435.00 PSIA
T	248.00 °F
ρ	1.06 lb/ft ³
H	722.26 BTU/LB
Q	81683.02 GPM
μ	508 mm
φ	76.20 mm
ε Aislamiento	---
Perdida de H	132 Criterio NOM

VAPOR EXAHUSTO DE AMONIACO DE TURBINA GT-001			
W	316,018.67 kg/h	696,701.08 lb/h	
P	10.00 bara	145.00 PSIA	
T	35.00 °C	68.80 °F	
ρ	7.38 kg/m ³	0.46 lb/ft ³	
H	1510.00 kJ/kg	649.17 BTU/LB	
Q	42820.96 m ³ /h	188535.02 GPM	
μ	0.008 cp		
φ	22.00 in	559 mm	
ε Aislamiento	3.00 in	76.20 mm	
Perdida de H	30.19 w/m		Criterio NOM 0

SUMINISTRO DE AGUA DE ENFRIAMIENTO			
W	593,629.53 kg/h	1,308,727.54 lb/h	
P	5.00 bara	72.50 PSIA	
T	10.00 °C	43.80 °F	
ρ	915.28 kg/m ³	57.14 lb/ft ³	
H	42.02 kJ/kg	18.07 BTU/LB	
Q	648.57 m ³ /h	2855.59 GPM	
μ	1.31 cp		
φ	12.00 in	305 mm	
ε Aislamiento	1.00 in	25.40 mm	
Perdida de H	12.80 w/m		Criterio NOM 0



CONDENSADO EA-101	
W	696,701.08 lb/h
P	435.00 PSIA
T	68.80 °F
ρ	36.67 lb/ft ³
H	141.87 BTU/LB
Q	2368.72 GPM
μ	305 mm
φ	---
ε Aislamiento	---
Perdida de H	---

CARGA TERMICA E-100		
W	477188190 kJ/hr	
P	452287126 btu/hr	
T	113974456 kcal/hr	

CARGA TERMICA E-102		
W	37290202.9 kJ/hr	
P	35344292 btu/hr	
T	8906613.13 kcal/hr	

POTENCIA GA-101		
W	58.837171 kW	
P	0.05883717 MW	
T	78.9019423 HP	

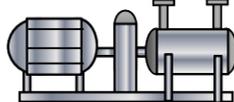
CONDENSADO DE EA-100	
W	696,701.08 lb/h
P	435.00 PSIA
T	68.80 °F
ρ	36.67 lb/ft ³
H	141.87 BTU/LB
Q	2368.72 GPM
μ	305 mm
φ	---
ε Aislamiento	---
Perdida de H	---

CONDENSADO DE EA-100	
W	696,701.08 lb/h
P	145.00 PSIA
T	68.80 °F
ρ	36.67 lb/ft ³
H	141.87 BTU/LB
Q	2368.72 GPM
μ	356 mm
φ	---
ε Aislamiento	---
Perdida de H	---

AMONIACO LIQUIDO DEL CONDENSADOR EA-102			
W	31,601.87 kg/h	69,670.11 lb/h	
P	10.00 bara	145.00 PSIA	
T	35.00 °C	68.80 °F	
ρ	587.40 kg/m ³	36.67 lb/ft ³	
H	330.00 kJ/kg	141.87 BTU/LB	
Q	53.80 m ³ /h	236.87 GPM	
μ	0.008 cp		
φ	4.00 in	102 mm	
ε Aislamiento	---	---	---
Perdida de H	---	---	---

AMONIACO LIQUIDO PROVENIENTE DEL SEPARADOR FA-102			
W	284,416.80 kg/h	627,030.97 lb/h	
P	10.00 bara	145.00 PSIA	
T	35.00 °C	68.80 °F	
ρ	587.40 kg/m ³	36.67 lb/ft ³	
H	330.00 kJ/kg	141.87 BTU/LB	
Q	484.20 m ³ /h	2131.85 GPM	
μ	0.008 cp		
φ	12.00 in	305 mm	
ε Aislamiento	---	---	---
Perdida de H	---	---	---

W	325.371756 kW	
P	0.325371756 MW	
T	436.330695 HP	



GA-100

AMONIACO A SEPARADOR FA-102			
W	316,018.67 kg/h	696,701.08 lb/h	
P	10.00 bara	145.00 PSIA	
T	35.00 °C	68.80 °F	
ρ	587.40 kg/m ³	36.67 lb/ft ³	
H	330.00 kJ/kg	141.87 BTU/LB	
Q	538.00 m ³ /h	2368.72 GPM	
μ	0.008 cp		
φ	12.00 in	305 mm	
ε Aislamiento	---	---	---
Perdida de H	---	---	---

AMONIACO GASEOSO A CONDENSADOR EA-100			
W	31,601.87 kg/h	69,670.11 lb/h	
P	10.00 bara	145.00 PSIA	
T	35.00 °C	68.80 °F	
ρ	7.38 kg/m ³	0.46 lb/ft ³	
H	1510.00 kJ/kg	649.17 BTU/LB	
Q	4282.10 m ³ /h	18853.50 GPM	
μ	0.008 cp		
φ	22.00 in	559 mm	
ε Aislamiento	---	---	---
Perdida de H	---	---	---

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO"

ICES DE MATERIA Y ENERGIA
CICLO RANKINE ORGANICO

ANEXO A

ELABORO: RMB

REV No: A

FECHA: 23/08/2009

HOJA 8 DE 9

BALANCE DE MATERIA Y ENERGIA GENERAL																	
CONCEPTO	UNIDADES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
FLUIDO		AGUA SALINA	VAPOR DE AGUA	AGUA SALINA	AGUA CONDENSADA	AGUA SALINA	NH3 SOBRE CALENTADO	NH3 EXHAUSTO	NH3 SATURADO	NH3 SEPARADO	NH3 CONDENSADO	NH3 CONDENSADO	NH3 CONDENSADO	NH3 ALTA PRESION	NH3 ALTA PRESION	AGUA DE ENFTO	AGUA DE ENFTO
ESTADO		LIQ	GAS	LIQ	LIQ	LIQ	GAS	GAS	LIQ-GAS	GAS	LIQ	LIQ	LIQ	LIQ	VAP	LIQ	LIQ
W	kg/h	150000	71405.3	1428595	71405.266	1500000	948056	948056	948056	94805.6	853250.41	94805.601	948056.01	948056	948056	1780889	1780889
	lb/h	3306930	157421.5	3149509	157421.478	3306930	2090103.2	2090103	2090103	209010.3	1881092.91	209010.323	2090103.23	2090103	2090103	3926183	3926183
P	bara	4	2	2	1.3	1.3	30	10	10	10	10	10	10	30	30	5	2
	PSIA	58.01508	29.00754	29.00754	18.854901	18.8549	435.1131	145.0377	145.0377	145.0377	145.0377	145.0377	145.0377	435.1131	435.1131	72.51885	29.00754
T	°C	160	120.212	120.212	107.10945	107.109	120	35	35	35	35	35	35	35	35	10	25
	°F	320	248.3808	248.3808	224.797015	224.797	248	95	95	95	95	95	95	95	95	50	77
ρ	kg/m ³	922.8847	1.12902	942.935	953.13573	953.136	17.034	7.38	587.4	7.38	587.4	587.4	587.4	587.4	13.4	915.284	942.935
	lb/ft ³	57.61381	0.070482	58.86551	59.502319	59.50232	1.0633979	0.460718	36.67018	0.460718	36.6701837	36.6701837	36.6701837	36.67018	0.836535	57.13933	58.86551
H	kJ/kg	604.7235	2706.24	504.684	449.13162	449.132	1680	1510	330	1510	330	330	330	330	1510	42.0211	104.838
	Btu/lb	259.9799	1163.455	216.9713	193.08858	193.0886	722.2578	649.1722	141.8721	649.1722	141.872069	141.872069	141.872069	141.8721	649.1722	18.06551	45.07163
Q	m ³ /h	1625.338	63245.6	1515.05	74.916158	1573.75	55656.69	128463	1613.99	12846.3	1452.5884	161.39871	1613.9871	1613.99	70750.4	1945.72	1888.67
	GPM	7156.15	278462.1	6670.57	329.845953	6929.026	245049.05	565605.1	7106.172	56560.51	6395.55483	710.617203	7106.17203	7106.172	311504.9	8566.756	8315.543
μ	cp	0.014439	0.01296	0.23159	0.2620073	0.26201	0.001	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	1.30544	0.89006

BALANCE DE MATERIA Y ENERGIA POR PAQUETE																	
CONCEPTO	UNIDADES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
FLUIDO		AGUA SALINA	VAPOR DE AGUA	AGUA SALINA	AGUA CONDENSADA	AGUA SALINA	NH3 SOBRE CALENTADO	NH3 EXHAUSTO	NH3 SATURADO	NH3 SEPARADO	NH3 CONDENSADO	NH3 CONDENSADO	NH3 CONDENSADO	NH3 ALTA PRESION	NH3 ALTA PRESION	AGUA DE ENFTO	AGUA DE ENFTO
ESTADO		LIQ	GAS	LIQ	LIQ	LIQ	GAS	GAS	LIQ-GAS	GAS	LIQ	LIQ	LIQ	LIQ	VAP	LIQ	LIQ
W	kg/h	500000	23801.76	476198.2	23801.7554	500000	316018.67	316018.7	316018.7	31601.87	284416.802	31601.8669	316018.669	316018.7	316018.7	593629.5	593629.5
	lb/h	1102310	52473.83	1049836	52473.8261	1102310	696701.08	696701.1	696701.1	69670.11	627030.969	69670.1077	696701.077	696701.1	696701.1	1308728	1308728
P	bara	4	2	2	1.3	1.3	30	10	10	10	10	10	10	30	30	5	2
	PSIA	58.01508	29.00754	29.00754	18.854901	18.8549	435.1131	145.0377	145.0377	145.0377	145.0377	145.0377	145.0377	435.1131	435.1131	72.51885	29.00754
T	°C	160	120.2115	120.2115	107.109453	107.1095	120	35	35	35	35	35	35	35	35	10	25
	°F	320	248.3808	248.3808	224.797015	224.797	248	95	95	95	95	95	95	95	95	50	77
ρ	kg/m ³	922.8847	1.129015	942.9351	953.135726	953.1357	17.034	7.38	587.4	7.38	587.4	587.4	587.4	587.4	13.4	915.2843	942.9351
	lb/ft ³	57.61381	0.070482	58.86551	59.502319	59.50232	1.0633979	0.460718	36.67018	0.460718	36.6701837	36.6701837	36.6701837	36.67018	0.836535	57.13933	58.86551
H	kJ/kg	604.7235	2706.241	504.6838	449.131616	449.1316	1680	1510	330	1510	330	330	330	330	1510	42.02109	104.8384
	Btu/lb	259.9799	1163.455	216.9713	193.08858	193.0886	722.2578	649.1722	141.8721	649.1722	141.872069	141.872069	141.872069	141.8721	649.1722	18.06551	45.07163
Q	m ³ /h	541.7795	21081.87	505.017	24.9720526	524.5843	18552.229	42820.96	537.9957	4282.096	484.196121	53.7995691	537.995691	537.9957	23583.48	648.5739	629.555
	GPM	2385.383	92820.71	2223.523	109.948651	2309.675	81683.015	188535	2368.724	18853.5	2131.85161	236.872401	2368.72401	2368.724	103835	2855.585	2771.848
μ	cp	0.014439	0.012963	0.231591	0.26200733	0.262007	0.001	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	1.30544	0.890059



"UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO"

**BALANCES DE MATERIA Y ENERGIA
CICLO RANKINE ORGANICO**

ANEXO A



NOMBRE DEL DOCUMENTO	CLAVE DEL DOCUMENTO	REV.
MEMORIA DE CALCULO BOMBA DE RECIRCULACIÓN GA-100	ANEXO B	A

PLANTA	DEPARTAMENTO	AREA
CERRO PRIETO	PROCESO	VAPOR Y GENERACION DE ENERGIA

No DE PROYECTO	INSTITUCIÓN	LOCALIZACION
MONT-001	UNAM, FES ZARAGOZA	BAJA CALIFORNIA, MEXICO

ESPECIALIDAD	TIPO DE DOCUMENTO
RECUPERACIÓN DE ENERGIA	MEMORIA DE CALCULO

REV.	FECHA	DESCRIPCION DE LA REVISION	COMPAÑÍA GENERADORA			CLIENTE	
			ELABORO	REVISO	APROBO	APROBO	FECHA
A	07/09/09	PARA REVISION Y/O COMENTARIOS	RMB	DOB			

INDICE

- 1.0 OBJETIVO
- 2.0 GENERALIDADES
- 3.0 ALCANCE
- 4.0 CONDICIONES AMBIENTALES
- 5.0 BASES Y CRITERIOS DE DISEÑO
- 6.0 METODO DE CALCULO
- 7.0 DESARROLLO
- 8.0 RESUMEN DE RESULTADOS
- 9.0 CONCLUSIONES
- 10.0 CODIGOS Y ESTANDARES APLICABLES
- 11.0 DOCUMENTOS DE REFERENCIA



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

MEMORIA DE CALCULO
BOMBA DE RECIRCULACIÓN GA-100

ANEXO B

ELABORO:

RMB

REV.

FECHA:

07/09/2009

HOJA 2 DE 8

1.0 OBJETIVO

El objetivo de la presente memoria es el calculo hidráulico de las bombas GA-100 A/B/C las cuales recircularán el amoniaco dentro del ciclo cerrado de cogeneración brindandole presión al fluido organico antes del evaporador.

2.0 GENERALIDADES

En la planta geotérmica, el agua proveniente de los pozos se lleva a una separación flash, la cual se lleva a cabo a la saliente de cada pozo para separar el vapor y transportarlo a los generadores, por otro lado el condensado de los fondos de esta separación es un flujo muy grande el cual aún tiene una alta temperatura, dicho condensado actualmente se manda a una laguna de secado solar, dejando sin aprovechamiento la energía calorífica residual del fluido. De esta manera surge la necesidad de evaluar el potencial calorifico que es capaz de otorgar el efluente de desperdicio de la geotermica con el proposito de tener un mayor aprovechamiento del calor y menores costos operativos con una mayor eficiencia de producción de energia electrica

3.0 ALCANCE.

El alcance de esta memoria cubre el cálculo hidráulico de las bombas GA-100 A/B/C. El análisis hidráulico cubre lo siguiente: diámetro de succión y descarga, cabeza total, NPSH disponible y potencia al freno.

4.0 CONDICIONES AMBIENTALES

Sitio:	Planta geotermica Cerro prieto
Localización geográfica:	Mexicali, Baja California Norte
Altura sobre el nivel del mar	11 msnm
Presión atmosférica:	760.00 mmHg 1.01 bar
Temperatura anual media:	24.2°C
Temperatura anual máxima media:	31.7°C
Temperatura anual mínima media:	15.9°C
Precipitación pluvial máxima en 1hr	45,6mm

5.0 BASES Y CRITERIOS DE DISEÑO

- Se consideran 35 BAR como presión de descarga de las bombas y 10 BAR como presión de succión
- Se considera un flujo total de amoniaco a bombear (por paquete) de 1614 m³/h
- Se considera una caída de presión de 0.2 kg/cm² a condiciones de filtro sucio en la succión y una caída de presión de 0.7 kg/cm² por el evaporador de tubos y coraza y no más de 0.2 kg/cm² en el sobrecalentador
- Se considerará el NPSH como un parametro no fundamental dado que este será por características del fluido un valor muy bajo; sin embargo se considerará para efecto de evitar que el fluido se evapore.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

MEMORIA DE CALCULO
BOMBA DE RECIRCULACIÓN GA-100

ANEXO B

ELABORO:

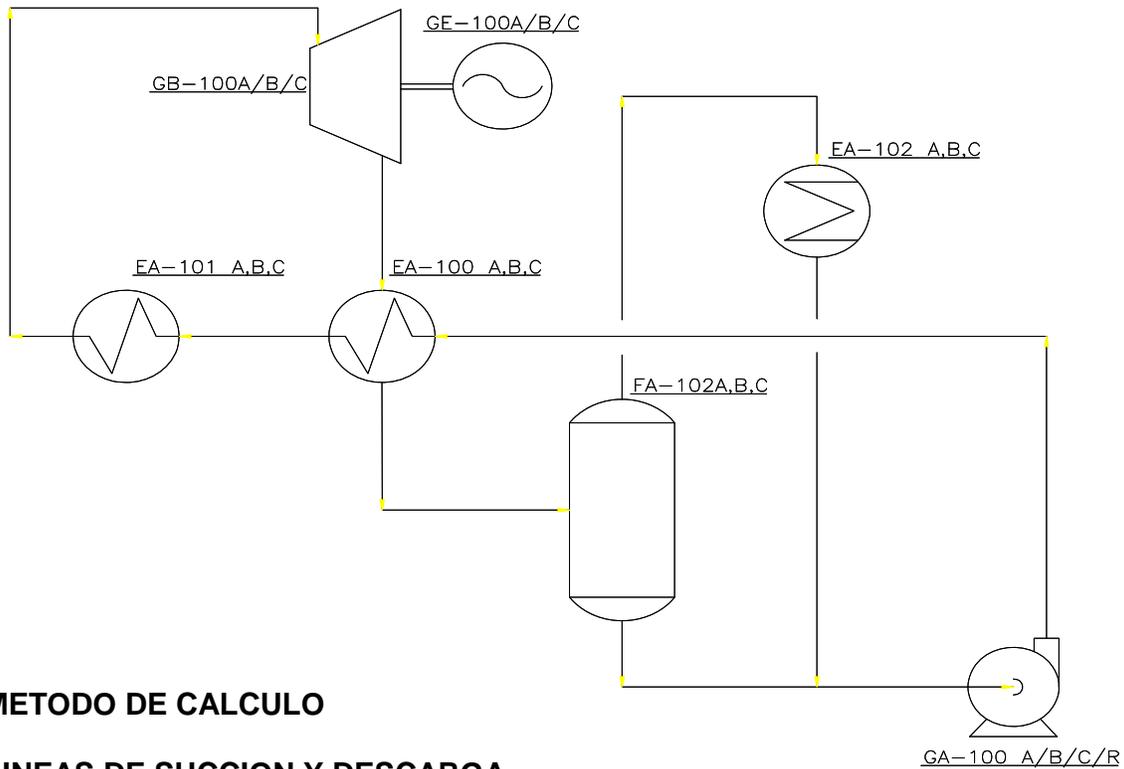
RMB

REV.

FECHA: 07/09/2009

HOJA 3 DE 8

5.1 ESQUEMA



6.0 METODO DE CALCULO

6.1 LINEAS DE SUCCION Y DESCARGA

VARIABLE	ECUACION	UNIDADES	DONDE:	UNIDADES
VELOCIDAD	$v = 0.5476 \frac{Q}{d^2}$	$\frac{m}{s}$	Q: GASTO	m ³ /h
DIAMETRO	$d = \sqrt{0.5476 \frac{Q}{v}}$	in		
No DE REYNOLDS	$Re = 13.9 \frac{Q \rho}{d \mu}$	ADIMEN.	ρ : DENSIDAD μ : VISCOSIDAD	$\frac{kg}{m^3}$ Cp

LONGITUD EQUIVALENTES

$$L_{EQV} = L_{RECTA} + \sum_i^n X^{Ac_i} * \left(\frac{L}{D}\right) * D + \sum_i^n \left(\frac{L}{D}\right)_{Misc} * D$$

L_{EQV} Long. Equivalente m

L_{RECTA} Long. RECTA m

Subíndices i a n

(L/D) Long. Unitaria

(L/D)_{MISC.}

D: Diámetro

Elementos (codos, tee's, etc.)

adim. (POR ELEMENTO)

adim. (MISCELANEA)



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

MEMORIA DE CALCULO BOMBA DE RECIRCULACIÓN GA-100

ANEXO B

ELABORO: RMB

REV.

FECHA: 07/09/2009

HOJA 4 DE 8

VARIABLE	ECUACION	UNIDAD	DONDE:
FACTOR DE FRICCION	$f = \left(A - \frac{(B - A)^2}{C - 2B + A} \right)^{-2}$	ADIM.	
	$A = -2.0 \log \left(\frac{12 \varepsilon}{3.7 d} + \frac{12}{Re} \right)$		ε : RUGOSIDAD
	$B = -2.0 \log \left(\frac{12 \varepsilon}{3.7 d} + \frac{2.51 A}{Re} \right)$		
	$C = -2.0 \log \left(\frac{12 \varepsilon}{3.7 d} + \frac{2.51 B}{Re} \right)$		
CAIDA DE PRESION :	$\Delta P_{fric.} = \frac{f L \rho Q^2}{16506.17 * d^5}$	kg/cm ²	

6.2 EQUIPO DE BOMBEO

VARIABLE	ECUACION	UNIDAD	DONDE:	UNIDADES
CAIDA DE PRESION POR TUBERIA Y ACCESORIOS SUC.	$h_{fs} = \Delta P_{fric.} + \Delta P_{INST} + \Delta P_{EQUIPOS}$	kg/cm ²	ΔP : CAIDA DE PRES.	kg/cm ²
CAIDA DE PRESION POR TUBERIA Y ACCESORIOS DESC.	$h_{fd} = \Delta P_{fric.} + \Delta P_{INST} + \Delta P_{EQUIPOS}$	kg/cm ²		
PRESION DE SUCCION	$P_{suc.} = P_{ops.} - F \Delta P_{fric} + \frac{(Z_1 - Z_2) \rho}{10,000}$	kg/cm ²	Z ₁ : ELEV. INICIAL Z ₂ : ELEV. FINAL F: SOBREDISEÑO (F TIPICO 15%)	m m %
PRESION DE DESCARGA	$P_{desc.} = P_{opd.} + F \Delta P_{fric} - \frac{(Z_1 - Z_2) \rho}{10,000}$	kg/cm ²		
CABEZA TOTAL	$H = \frac{\Delta P_T \times 10}{Sg}$	m	ΔP_T : P _{desc.} - P _{suc.} Sg: GRAV. ESPECIF.	kg/cm ² adim.
POTENCIA AL FRENO	$BHP = \frac{HQsg}{367.44\eta}$	Kw	η : EFICIENCIA	
CABEZA DE SUCCION DISPONIBLE	$NPSH_A = (P_{suc.} + P^A - P^\circ) * 10$	m (agua)	P ^A : Pres. atmosf. P [°] : Pres. de vapor	kg/cm ² abs. kg/cm ² abs.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

MEMORIA DE CALCULO
BOMBA DE RECIRCULACIÓN GA-100

ANEXO B

ELABORO: RMB

REV.

FECHA:

07/09/2009

HOJA 5 DE 8

7.0 DESARROLLO

7.1 LINEAS DE SUCCION Y DESCARGA

FLUIDO:	AMONIACO	
CANTIDAD DE EQUIPOS DE BOMBEO	6 (3 en operación 3 de relevo)	Pza.
GASTO POR EQUIPO DE BOMBEO:	538.00	m ³ /h
GASTO TOTAL A MANEJAR:	1614.00	m ³ /h
TEMPERATURA:	35	°C
DENSIDAD:	587	kg/m ³
GRAVEDAD ESPECIFICA	0.587	Adim.
VISCOSIDAD	0.008	cp
MATERIAL DE TUBERIA	Acero al carbon	
CEDULA DE TUBERIA	40	
VELOCIDAD RECOMENDADA SUCCION:	1.15	m/s
VELOCIDAD RECOMENDADA DESC:	2.5	m/s
MÁXIMA CAÍDA DE PRESIÓN PERMISIBLE:	0.5	kg/cm ² _{x100m.}

El diámetro de succión y el de descarga se calculan con la segunda ecuación del punto 6.1 de este documento, posteriormente se verifican los criterios de velocidad y caída de presión.

Cálculo para la succión.

D _{calc.} =	16.01	in
D _{succ} =	18	in
Re =	30484051	Adim.
v =	1.034	m/s
ε =	0.0018	in
f =	0.0147	Adim.
ΔP _{100m} =	0.0092	kg/cm ² _{x100m.}

Cálculo para la descarga.

D _{calc.} =	10.8556	in
D _{desc.} =	12	in
Re =	45726077.1	Adim.
v =	2.067	m/s
ε =	0.0018	in
f =	0.0147	Adim.
ΔP _{100ft} =	0.0552	kg/cm ² _{x100m.}



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

MEMORIA DE CALCULO
BOMBA DE RECIRCULACIÓN GA-100

ANEXO B

ELABORO: RMB

REV.

FECHA: 07/09/2009

HOJA 6 DE 8

7.2 RUTA DE BOMBEO

SISTEMA DE BOMBEO																		
ID	DN in	CED.	D. INT. In	L.RECT A (m)	FLUJO m³/h	CODOS		VALVULAS					TEES		REDUCCIÓN:		ΔP EQUIPO	
						90°	45°	BOLA	MARIP.	COMP	GLO.	CHECK	RUN	90°	02:01	04:03		
SUCCIÓN																		
S0	18	40	16.876	5	538.0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	1	0	1	0.20
DESCARG.																		
D1	12	40	11.938	26.6	538.0	4	0	0	0	2	0	1	0	1	0	1	0.70	
L/D:						35	17	6	50	9	300	100	20	50	12	16		

SISTEMA DE BOMBEO															
ID	DN in	CED.	FLUJO m³/h	ρ kg/m³	μ Cp	VEL. m/s	Z1 m	Z2 m	REYNOLD S	L. ACC m	L. EQV m	ΔP ₁₀₀ kg/cm²	ΔP _{TOT} kg/cm²	P. INICIAL kg/cm²	P. FINAL kg/cm²
SUCCIÓN															
S0	18	40	538.00	587	0.008	1.0	4	0	32514395	36	41	0.0092	0.0038	10	10.03
DESCARG.															
D1	12	40	538.00	587	0.008	2.1	0	4	45963555	98	125	0.0552	0.069	36.00	35.00
TOTAL															

7.3 PRESION DIFERENCIAL TOTAL

$$\Delta P_T: P_{desc.} - P_{suc.} = 36 - (10.03) = 25.97 \text{ kg/cm}^2$$

7.4 CABEZA HIDROSTATICA DE LA BOMBA

$$H = \frac{\Delta P_T \times 10}{Sg} = \frac{25.97 \times 10}{0.587} = 442.47 \text{ m}$$

7.5 BHP DE LA BOMBA

$$\eta = 0.85 \text{ (85\%)}$$

$$BHP = \frac{HQsg}{367.44\eta} = \frac{442.47 \times 538 \times 0.59}{367.44 \times 0.85} = \frac{447.40}{600.0} \text{ Kw HP}$$

7.6 NPSH DISPONIBLE DE LA BOMBA

Presión de vapor por Antoine tomado del NIST

$$\log P = A - \frac{B}{(C+T)}$$

Donde A= 4.8689 T [=] K
B= 1113.9 P [=] Bar
C= -10.41

$$P^\circ @ 20^\circ\text{C} = 10.73 \text{ kg/cm}^2 \text{ abs. } P^A = 0.755 \text{ kg/cm}^2 \text{ abs.}$$

$$NPSH = (P_{suc.} + P^A - P^\circ) \times 10 = (10.03 + 0.76 - 10.73) \times 10 = 0.52 \text{ m}$$



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

MEMORIA DE CALCULO
BOMBA DE RECIRCULACIÓN GA-100

ANEXO B

ELABORO: RMB REV. FECHA: 07/09/2009

HOJA 7 DE 8

8.0 RESUMEN DE RESULTADOS.

EQUIPO	Bomba centrifuga horizontal
CANTIDAD	2 (A/B)
TAG	P-621 A/B
FLUIDO:	Amoniaco
TEMP. DE BOMBEO (°C)	35
GASTO POR EQUIPO (m ³ /h)	1614.00
GASTO TOTAL (m ³ /h)	1614.00
DENSIDAD (kg/m ³)	587
VISCOSIDAD (Cp)	0.008
DIAMETRO _{SUCCION}	18
DIAMETRO _{DESCARGA}	12
P _{SUCCION} (kg/cm ²)	10.03
P _{DESCARGA} (kg/cm ²)	36.00
CABEZA TOTAL (m)	442.47
EFICIENCIA	(85%)
BHP @85% EF. (KW)	447.40
POTENCIA HIRAUICA (kW)	380.29
NPSH _A (m)	0.52

9.0 CONCLUSIONES

SE REQUIEREN BOMBAS ADECUADAS PARA EL MANEJO DE AMONIACO CON CAPACIDAD PARA MANEJAR 1614 m³/h (7106.228GPM) Y UNA CABEZA DIFERENCIAL TOTAL DE 442.5m (1451.767 ft). DEBEN DE MANEJAR BAJAS VELOCIDADES DE ROTACIÓN PARA EVITAR FLASHEOS INDESEABLES DEBEN CONTAR CON DOBLE SELLO MECANICO Y CON CAMARA DE SELLO PRESURIZADO Y RESERVORIO DE ACEITE Y VÁLVULA DE RELEVO AJUSTABLE PARA RETORNO DE VAPORES.

EL NPSH DISPONIBLE ES ADECUADO PARA LA SUCCIÓN ADECUADA DE LA BOMBA YA QUE ES AMPLIO TENIENDO UN VALOR NUMÉRICO DE 0.5 m (1.7 ft).

10.0 CODIGOS Y ESTANDARES APLICABLES

ANSI

11.0 DOCUMENTOS DE REFERENCIA.

MT-DFP-001	DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO
MT-DTI-001	DIAGRAMA DE TUBERIAS E INSTRUMENTACIÓN SECCIÓN DEAREADOR
MT-TU-001	ARREGLO DE TUBERIAS GLOBAL



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

MEMORIA DE CALCULO
BOMBA DE RECIRCULACIÓN GA-100

ANEXO B

ELABORO: RMB REV. FECHA: 07/09/2009 HOJA 8 DE 8



NOMBRE DEL DOCUMENTO

CLAVE DEL DOCUMENTO

REV.

**"DIMENSIONAMIENTO DE TANQUES SEPARADORES FLASH
PARA RECUPERACIÓN DE VAPOR"**

ANEXO C

A

PLANTA

DEPARTAMENTO

AREA

CERRO PRIETO

PROCESO

**VAPOR Y GENERACIÓN DE
ENERGIA**

No DE PROYECTO

INSTITUCIÓN

LOCALIZACION

MONT-001

UNAM, FES ZARAGOZA

BAJA CALIFORNIA, MEXICO

ESPECIALIDAD

TIPO DE DOCUMENTO

RECUPERACION DE ENERGIA

MEMORIA DE CALCULO

REV.

FECHA

DESCRIPCIÓN DE LA REVISIÓN

COMPAÑÍA GENERADORA

CLIENTE

ELABORO

REVISO

APROBO

APROBO

FECHA

A

07/09/09

PARA REVISION Y/O COMENTARIOS

R.M.B.

DOB

INDICE

1.0	OBJETIVO
2.0	GENERALIDADES
3.0	ALCANCE
4.0	CONDICIONES AMBIENTALES
5.0	DATOS Y CRITERIOS DE DISEÑO
6.0	METODO DE CALCULO
7.0	DESARROLLO Y RESULTADOS
8.0	ESQUEMA



"DIMENSIONAMIENTO DE TANQUES
SEPARADORES FLASH PARA RECUPERACIÓN DE
VAPOR"

ANEXO C

ELABORO:
R.M.B.

FECHA:
07-Sep-09

REVISIÓN:
A

HOJA;
2 de 7

1.- OBJETIVO

El objetivo de la presente memoria es el calculo de las dimensiones de los tanques separadores flash FA-101 A/B/C los cuales separaran el vapor de los efluentes de desecho de la planta geotermica el cual es el fluido de calentamiento del sistema

2.- GENERALIDADES

En la planta geotérmica, el agua proveniente de los pozos se lleva a una separación flash, la cual se lleva a cabo a la saliente de cada pozo para separar el vapor y transportarlo a los generadores, por otro lado el condensado de los fondos de esta separación es un flujo muy grande el cual aún tiene una alta temperatura, dicho condensado actualmente se manda a una laguna de secado solar, dejando sin aprovechamiento la energía calorífica residual del fluido

De esta manera surge la necesidad de evaluar el potencial calorifico que es capaz de otorgar el efluente de desperdicio de la geotermica con el proposito de tener un mayor aprovechamiento del calor y menores costos operativos con una mayor eficiencia de producción de energia electrica

3.- ALCANCE.

El alcance de esta memoria cubre el cálculo de las dimensiones de los tanques separadores Flash FA-101C A/B/C, tales como el diametro y altura del recipiente asi como el diametro de las boquillas de alimentación. salida de condensados v de vapor.

4.- CONDICIONES AMBIENTALES

Sitio:	Planta geotermica Cerro prieto
Localización geográfica:	Mexicali, Baja California Norte
Altura sobre el nivel del mar	11 msnm
Presión atmosférica:	760.00 mmHg 1.01 bar
Temperatura anual media:	24.2°C
Temperatura anual máxima media:	31.7°C
Temperatura anual mínima media:	15.9°C
Precipitación pluvial máxima en 1hr	45,6mm



"DIMENSIONAMIENTO DE TANQUES SEPARADORES FLASH PARA RECUPERACIÓN DE VAPOR"

ANEXO C

ELABORO:
R.M.B.

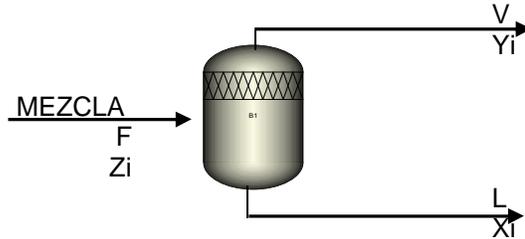
FECHA:
07-Sep-09

REVISIÓN:
A

HOJA;
3 de 7

6.- METODO DE CALCULO

BALANCE DE MATERIA PARA EL SEPARADOR FLASH MULTICOMPONENTE



S = NUMERO DE COMPONENTES
 F = FLUJO MOLAR A LA ENTRADA
 V = FLUJO MOLAR DE LA FASE VAPOR
 L = FLUJO MOLAR DE LA FASE LIQUIDA
 Z = COMPOCICION A LA ENTRADA
 Y = COMPOCICION DE LA FASE VAPOR
 X = COMPOCICION DE LA FASE LIQUIDA
 K_i = CONSTANTE DE EQUILIBRIO PARA EL i -ESIMO COMPONENTE
 Z_i = COMPOCICION A LA ENTRADA DEL i -ESIMO COMPONENTE
 Y_i = COMPOCICION DEL i -ESIMO COMPONENTE EN LA FASE VAPOR
 X_i = COMPOCICION DEL i -ESIMO COMPONENTE EN LA FASE LIQUIDA

BALANCE

$$1) F = L + V$$

$$2) FZ_i = VY_i + LX_i \quad i=1, \dots, S$$

$$3) Y_i = K_i X_i \quad i=1, \dots, S$$

$$4) \sum_{i=1}^S Z_i = 1 \quad \sum_{i=1}^S X_i = 1 \quad \sum_{i=1}^S Y_i = 1$$

Se define como la fraccion vaporizada θ como la relacion caudal de vapor producido a caudal de alimentaci3n.

$$5) \theta = \frac{V}{F}$$

Sustituyendo las ecuaciones (4) y (1) en (2)

$$6) FZ_i = \theta F K_i X_i + F(1 - \theta) X_i$$

Dividiendo ambos terminos de la ecuacion (6) por F y despejando X_i

$$7) Z_i = X_i[(\theta K_i + 1) - \theta]$$

Despejando X_i

$$8) X_i = \frac{Z_i}{\theta(K_i - 1) + 1}$$

Sustituyendo la ecuacion (3) en (8)

$$9) Y_i = \frac{K_i Z_i}{\theta(K_i - 1) + 1}$$

Por el criterio de Rachford -Rice

$$10) \sum_{i=1}^S Y_i - \sum_{i=1}^S X_i = 0$$

Sustituyendo las Ecuaciones (8) y (9) en (10)

$$11) \sum_{i=1}^S \frac{(K_i - 1)Z_i}{\theta(K_i - 1) + 1} = 0$$



"DIMENSIONAMIENTO DE TANQUES
SEPARADORES FLASH PARA
RECUPERACI3N DE VAPOR"

ANEXO C

ELABORADO
R.M.B.

FECHA:
07-Sep-09

REVISI3N:
A

HOJA;
4 de 7

Para el calculo de la densidad

$$PV = ZnRT$$

Despejando n/V

$$\frac{n}{V} = \frac{P}{ZRT} \quad \frac{n}{V} = \rho$$

Para el calculo del factor de compresibilidad Z por el metodo de Redlich - Kwong

$$Z^3 - Z^2 + (A - B - B^2)Z - AB = 0$$

$$A = 0.42748 \frac{P_r}{T_r^{2.5}} \quad T_r = \frac{T}{T_c}$$

$$B = 0.08664 \frac{P_r}{T_r} \quad P_r = \frac{P}{P_c}$$

Para el calculo de las presiones de punto de Burbuja Y de Rocio

$$\sum_{i=1}^S \frac{Z_i P_i^{SAT}}{P^{BURB}} = 1 \quad \sum_{i=1}^S \frac{Z_i P^{ROCIO}}{P_i^{SAT}} = 1$$

* La presion del sistema debe de estar entre la presion del punto de Burbuja y la de Rocio

Para el diametro de las lineas

		Unidades Donde		Unidades
Velocidad	$v = 0.5476 \frac{Q}{d^2}$	m/seg	Q: gasto	m³/h
Diametro	$d = \sqrt{0.5476 \frac{Q}{v}}$	in		

Para el dimensionamiento del tanque

Calculo de la velocidad máxima permisible

$$V_{mp} = K \left(\frac{\rho_L - \rho_V}{\rho_V} \right)^{\frac{1}{2}}$$

ft/seg	Unidades Donde		Unidades
	$\rho_L =$	Densidad del liquido	lb/ft³
	$\rho_V =$	Densidad del vapor	lb/ft³

Calculo de la velocidad de diseño

$$V_D = 0.75 V_{mp} \quad \text{ft/seg}$$

Calculo del area transversal

$$A_T = \frac{W_v}{V_D} \quad \text{ft}^2$$

Calculo del diametro del recipiente

$$D = \left(\frac{2 A_T}{\pi} \right)^{\frac{1}{2}} \quad \text{ft}$$



"DIMENSIONAMIENTO DE TANQUES
SEPARADORES FLASH PARA
RECUPERACIÓN DE VAPOR"

ANEXO C

ELABORADO
R.M.B.

FECHA:
07-Sep-09

REVISION:
A

HOJA;
5 de 7

7.0 DESARROLLO Y RESULTADOS

DIMENSIONAMIENTO DEL TANQUE VERTICAL

CORRIENTE 1 ALIMENTACION A FLASH

W	500000	kg/h	1102310	lb/h
P	4	bara	58	PSIA
T	160	°C	193.8	°F
ρ	922.885	kg/m ³	57.6138	lb/ft ³
H	604.723	kJ/kg	259.98	BTU/LB
Q	541.779	m ³ /h	2385.38	GPM
μ	0.01444	cp		
ϕ	12	in	304.8	mm

CORRIENTE 2 SALIDA DE VAPOR DEL FLASH

W	23801.755	kg/h	52473.8261	lb/h
P	2	bara	29	PSIA
T	120.211546	°C	154.011546	°F
ρ	1.12901517	kg/m ³	0.07048211	lb/ft ³
H	2706.24134	kJ/kg	1163.45472	BTU/LB
Q	21081.8739	m ³ /h	92820.708	GPM
μ	0.01296333	cp		
ϕ	18	in	457.2	mm

CORRIENTE 3 CONDENSADO DEL FLASH

W	476198	kg/h	1049836	lb/h
P	2	bara	29	PSIA
T	120.212	°C	154.012	°F
ρ	942.935	kg/m ³	58.8655	lb/ft ³
H	504.684	kJ/kg	216.971	BTU/LB
Q	505.017	m ³ /h	2223.5232	GPM
μ	0.23159	cp		
ϕ	12	in	304.8	mm

CALCULO DE LA VELOCIDAD MAXIMA PERMISIBLE

Separador con malla

K= 0.2
Vmp= 5.77645 ft/seg

CALCULO DE LA VELOCIDAD DE DISEÑO

VD= 4.33234 ft/seg
1.3205 m/seg

CALCULO DEL AREA TRNSVERSAL

AT= 47.7353 ft²
4.43476 m²

CALCULO DEL DIAMETRO DEL RECIPIENTE

D= 7.79606 ft
2.37624 mts

CALCULO DE LA ALTURA DEL RECIPIENTE

H= 23.3882 ft
7.12872 mts



"DIMENSIONAMIENTO DE TANQUES SEPARADORES
FLASH PARA RECUPERACIÓN DE VAPOR"

ANEXO C

ELABORADO
R.M.B.

FECHA:
07-Sep-09

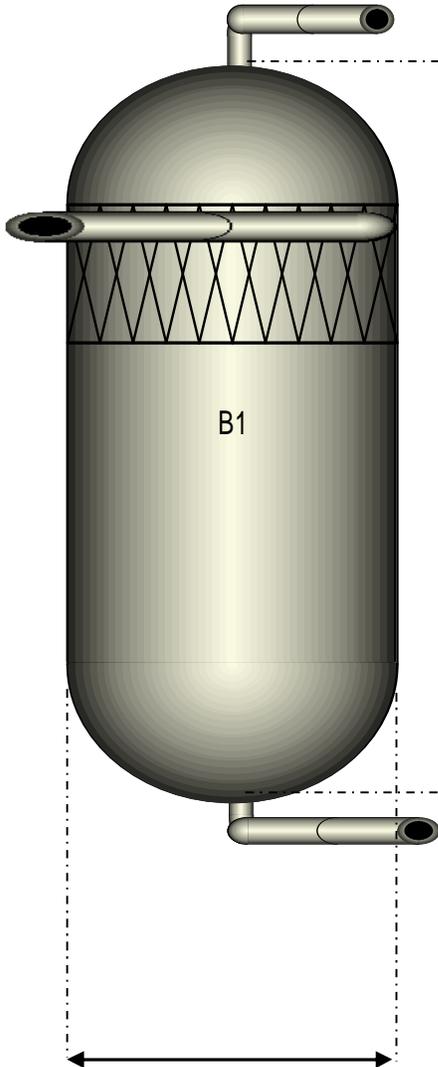
REVISION:
A

HOJA;
6 de 7

8.0 ESQUEMA DEL TANQUE VERTICAL

$\phi = 12$ in
 $Q = 1102310$ lb/hr
 $W = 19132.7$ ft³/hr

$\phi = 18$ in
 $Q = 52473.826$ lb/hr
 $W = 744497.94$ ft³/hr



Altura = 23.4 ft

$\phi = 12$ in
 $Q = 1049836.2$ lb/hr
 $W = 17834.473$ ft³/hr

Diametro= 7.80 ft



"DIMENSIONAMIENTO DE TANQUES SEPARADORES FLASH PARA RECUPERACIÓN DE VAPOR"

ANEXO C

ELABORO:
R.M.B.

FECHA:
07-Sep-09

REVISION:
A

HOJA;
7 de 7



NOMBRE DEL DOCUMENTO

CLAVE DEL DOCUMENTO

REV.

HOJAS DE DATOS Y ESQUEMAS DE LOS CAMBIADORES DE CALOR INVOLUCRADOS EN EL PROCESO

ANEXO D

A

PLANTA

DEPARTAMENTO

AREA

CERRO PRIETO

PROCESO

VAPOR Y GENERACION DE ENERGIA

No DE PROYECTO

CLIENTE

LOCALIZACION

MONT-001

BAJA CALIFORNIA, MEXICO

ESPECIALIDAD

TIPO DE DOCUMENTO

PROCESO

HOJAS DE DATOS

REV.

FECHA

DESCRIPCION DE LA REVISION

COMPAÑIA GENERADORA

CLIENTE

ELABORO

REVISO

APROBO

APROBO

FECHA

A

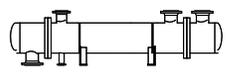
23/08/09

PARA REVISION Y/O COMENTARIOS

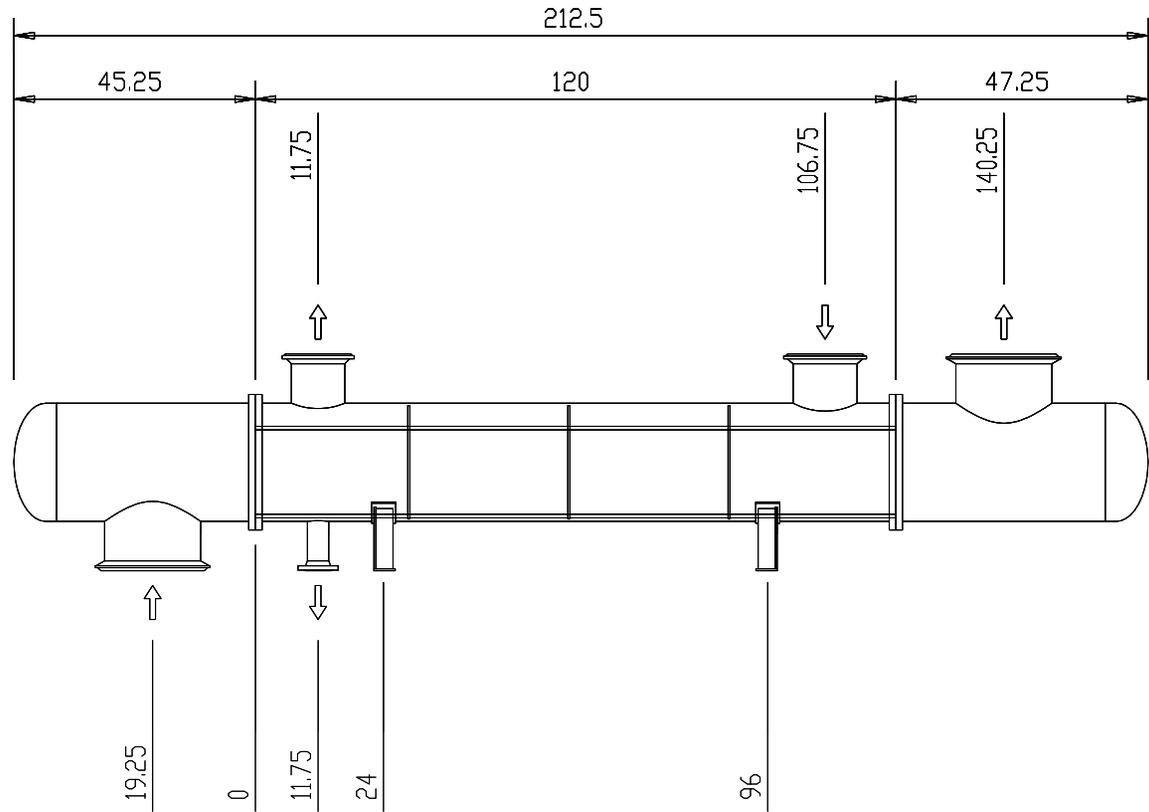
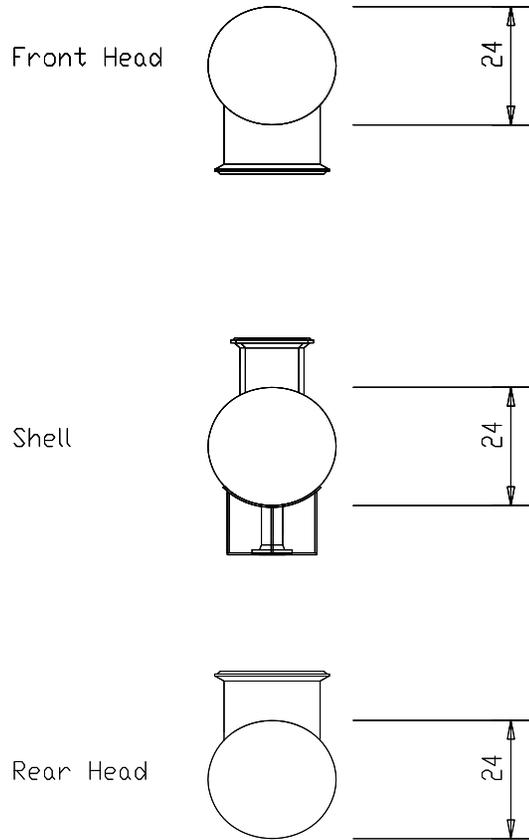
RMB

DOB

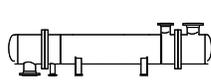
Heat Exchanger Specification Sheet

1	Condensador de amoniaco										
2											
3											
4											
5											
6	Size	23 / 120	in	Type	BEM	hor	Connected in	1 parallel	1 series		
7	Surf/unit(eff.)	855.6	ft2	Shells/unit	1		Surf/shell (eff.)	855.6	ft2		
8	PERFORMANCE OF ONE UNIT										
9	Fluid allocation			Shell Side			Tube Side				
10	Fluid name			Amoniaco vapor			Agua de enfriamiento				
11	Fluid quantity, Total			lb/h			1308706				
12	Vapor (In/Out)			lb/h			69667		38066		
13	Liquid			lb/h					31601		1308706
14	Noncondensable			lb/h							1308706
15											
16	Temperature (In/Out)			F			95		77		50
17	Dew / Bubble point			F			95				
18	Density			lb/ft3			0.446		37.557		38.946
19	Viscosity			cp			0.0104		0.1049		0.1292
20	Molecular wt, Vap										
21	Molecular wt, NC										
22	Specific heat			BTU/(lb*F)			0.5905		1.1482		1.1197
23	Thermal conductivity			BTU/(ft*h*F)			0.017		0.277		0.297
24	Latent heat			BTU/lb			483.9		501.4		
25	Pressure			psi			145.038				72.519
26	Velocity			ft/s			38.28				10.07
27	Pressure drop, allow./calc.			psi			2		1.567		10
28	Fouling resist. (min)			ft2*h*F/BTU							1.778
29	Heat exchanged			16473440 BTU/h			MTD corrected		30.19		F
30	Transfer rate, Service			637.86			Dirty		1075.75		Clean
31											1075.75
32											BTU/(h*ft2*F)
33	CONSTRUCTION OF ONE SHELL										
34				Shell Side			Tube Side			Sketch	
35	Design/Test pressure			psi			150 / Code			75 / Code	
36	Design temperature			F			160			130	
37	Number passes per shell			1			1				
38	Corrosion allowance			in			0.0625				
39	Connections			In			12 / 150 ANSI				
40	Size/rating			Out			10 / 150 ANSI				
41	in			Intermediate			/ 150 ANSI			/ 150 ANSI	
42	Tube No.			445			OD 0.75			0.065 in	
43	Tube type			Plain			Material			CS	
44	Shell			CS			ID			OD 24 in	
45	Channel or bonnet			CS			Shell cover			Tube pattern 30	
46	Tubesheet-stationary			CS			Channel cover			Tubesheet-floating	
47	Floating head cover						Impingement protection			Circular plate on bundle	
48	Baffle-crossing			CS			Type			single seg	
49	Baffle-long						Cut(%d)			46 vert	
50	Supports-tube						Seal type			Spacing: c/c 30 in	
51	Bypass seal						U-bend			Inlet 30 in	
52	Expansion joint						Type			groove/expand	
53	RhoV2-Inlet nozzle			1364			Bundle entrance			608	
54	Gaskets - Shell side						Tube Side			Bundle exit 169 lb/(ft*s2)	
55	Floating head										
56	Code requirements			ASME Code Sec VIII Div 1			TEMA class			B	
57	Weight/Shell			4889.3			Filled with water			7746.1	
58	Remarks									Bundle 2715.6 lb	

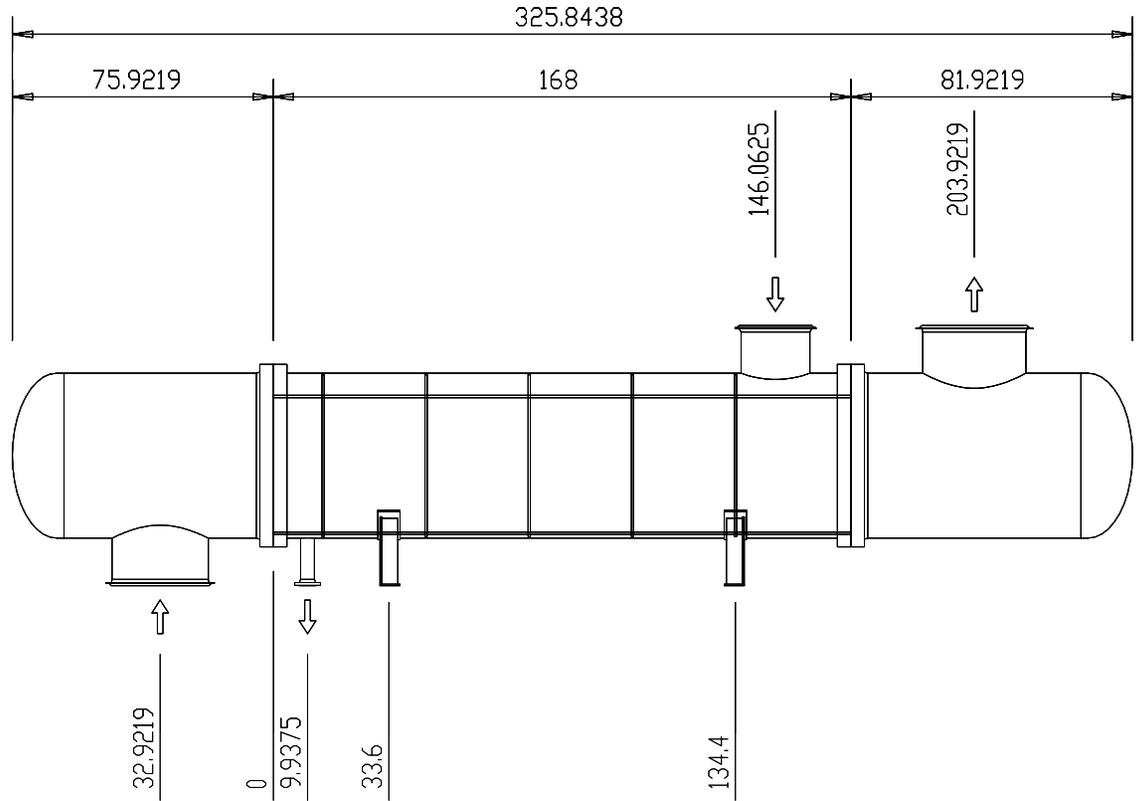
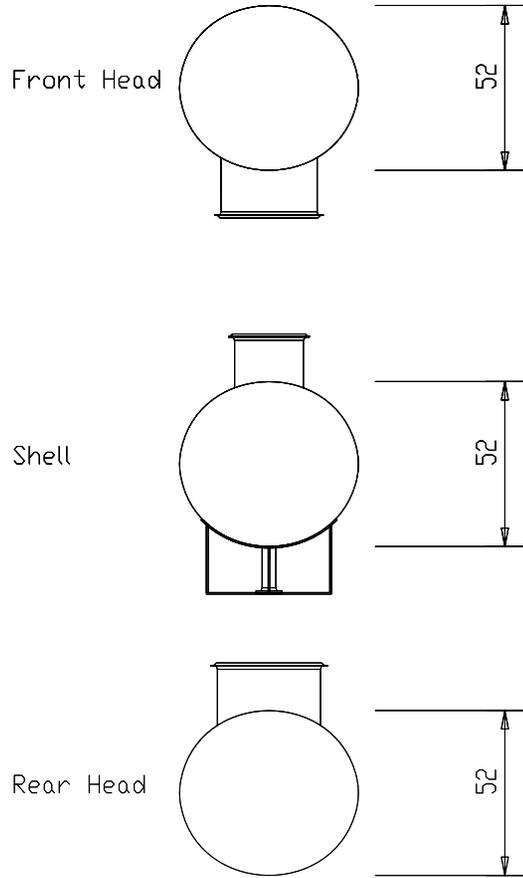
DIBUJOS MECANICOS



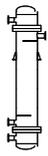
Heat Exchanger Specification Sheet

1	Evaporador												
2													
3													
4													
5													
6	Size	51 / 168	in	Type	BEM	hor	Connected in	1 parallel	1 series				
7	Surf/unit(eff.)	6172.8	ft2	Shells/unit	1		Surf/shell (eff.)	6172.8	ft2				
8	PERFORMANCE OF ONE UNIT												
9	Fluid allocation	Shell Side				Tube Side							
10	Fluid name	Vapor saturado				Amoniaco saturado							
11	Fluid quantity, Total	52471				696689							
12	Vapor (In/Out)	52471				696689		696689					
13	Liquid			52471									
14	Noncondensable												
15													
16	Temperature (In/Out)	F		247.94		221.38		95		201.68			
17	Dew / Bubble point	F		247.94		247.94							
18	Density	lb/ft3		0.069		59.433		1.65		1.204			
19	Viscosity	cp		0.013		0.2823		0.011		0.0128			
20	Molecular wt, Vap												
21	Molecular wt, NC												
22	Specific heat	BTU/(lb*F)		0.5189		1.0044		0.7438		0.6468			
23	Thermal conductivity	BTU/(ft*h*F)		0.015		0.389		0.022		0.023			
24	Latent heat	BTU/lb		943.8		960.7							
25	Pressure	psi		29.008				435.113					
26	Velocity	ft/s		51.56				27.88					
27	Pressure drop, allow./calc.	psi		1.45		1.446		10		0.742			
28	Fouling resist. (min)	ft2*h*F/BTU											
29	Heat exchanged	50919740 BTU/h				MTD corrected		90.22		F			
30	Transfer rate, Service	91.43		Dirty		139.79		Clean		139.79 BTU/(h*ft2*F)			
31	CONSTRUCTION OF ONE SHELL							Sketch					
32		Shell Side			Tube Side								
33	Design/Test pressure	psi		75 / Code			470 / Code						
34	Design temperature	F		310			270						
35	Number passes per shell	1			1								
36	Corrosion allowance	in		0.0625			0.0625						
37	Connections	In		20 / 150 ANSI			28 / 300 ANSI						
38	Size/rating	Out		4 / 150 ANSI			30 / 300 ANSI						
39	in	Intermediate		/ 150 ANSI			/ 300 ANSI						
40	Tube No.	2356		OD 0.75		0.065 in		Length 14 ft		Pitch 0.9375 in			
41	Tube type	Plain			Material CS			Tube pattern 30					
42	Shell	CS			ID OD 52 in			Shell cover					
43	Channel or bonnet	CS						Channel cover					
44	Tubesheet-stationary	CS						Tubesheet-floating					
45	Floating head cover							Impingement protection Circular plate on bundle					
46	Baffle-crossing	CS		Type single seg		Cut(%d) 45		vert Spacing: c/c		30 in			
47	Baffle-long			Seal type				Inlet		29.5625 in			
48	Supports-tube			U-bend		Type							
49	Bypass seal			Tube-tubesheet joint		groove/expand							
50	Expansion joint			Type									
51	RhoV2-Inlet nozzle	757		Bundle entrance		540		Bundle exit		26 lb/(ft*s2)			
52	Gaskets - Shell side				Tube Side								
53	Floating head												
54	Code requirements	ASME Code Sec VIII Div 1				TEMA class		B					
55	Weight/Shell	39602.4		Filled with water		60829.7		Bundle		24433.6 lb			
56	Remarks												
57													
58													

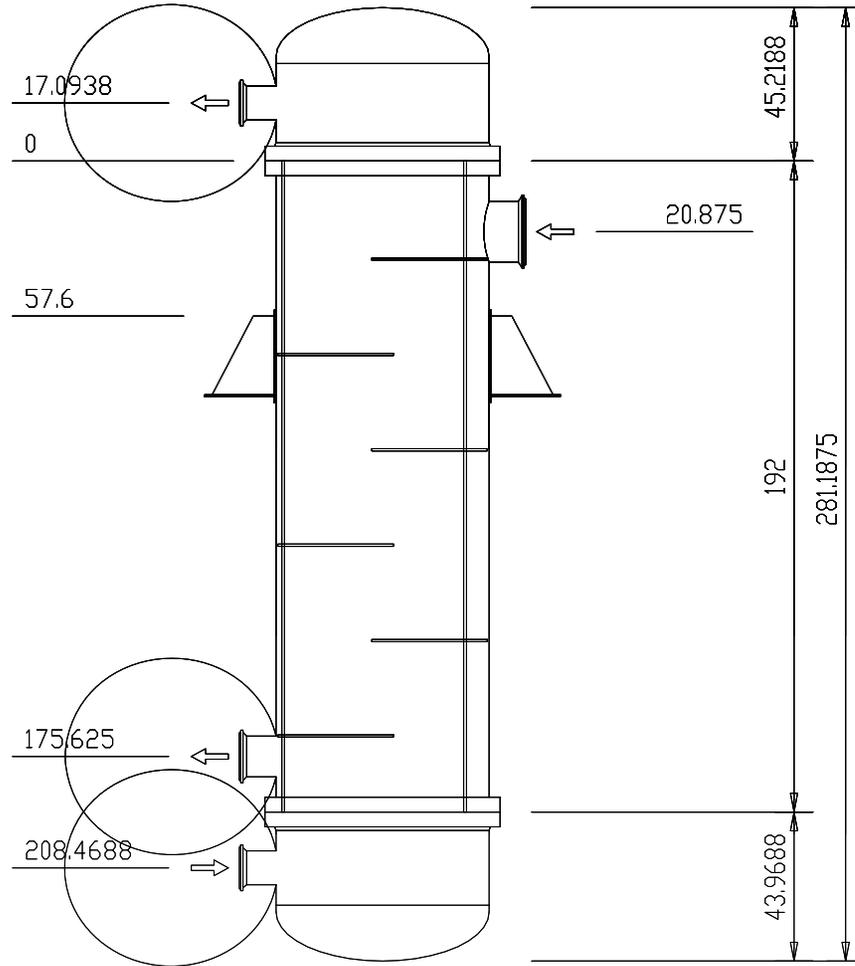
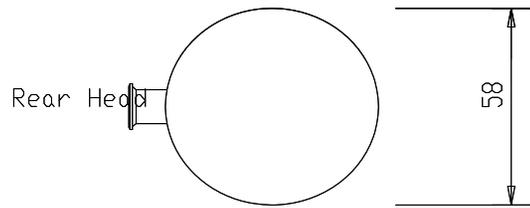
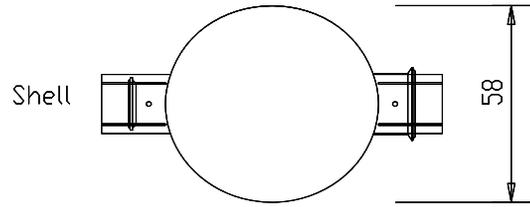
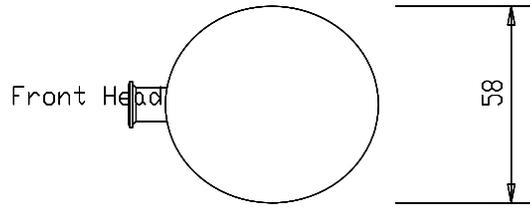
DIBUJOS MECANICOS



Heat Exchanger Specification Sheet

1	Condensador Evaporativo											
2												
3												
4												
5												
6	Size	67 / 96	in	Type	BEM	vert	Connected in	25 parallel	16 series			
7	Surf/unit(eff.)	2403326	ft2	Shells/unit	400		Surf/shell (eff.)	6008.3	ft2			
8	PERFORMANCE OF ONE UNIT											
9	Fluid allocation					Shell Side		Tube Side				
10	Fluid name					Amoniaco vapor		Amoniaco l'Yquido				
11	Fluid quantity, Total	lb/h					696689		696689			
12	Vapor (In/Out)	lb/h					696689	380671	380671	696689		
13	Liquid	lb/h							316018			
14	Noncondensable	lb/h										
15												
16	Temperature (In/Out)	F					95	93.2	91.4	93.2		
17	Dew / Bubble point	F					95			93.2		
18	Density	lb/ft3					0.446	36.778	36.861	1.662		
19	Viscosity	cp					0.0104	0.0942	0.0953	0.011		
20	Molecular wt, Vap											
21	Molecular wt, NC											
22	Specific heat	BTU/(lb*F)					0.5905	1.1669	1.1648	0.7468		
23	Thermal conductivity	BTU/(ft*h*F)					0.017	0.266	0.267	0.022		
24	Latent heat	BTU/lb					483.9	485.7	487.4	485.7		
25	Pressure	psi					145.038			435.113		
26	Velocity	ft/s					2.91		0.52			
27	Pressure drop, allow./calc.	psi					2	1.567	2	0.412		
28	Fouling resist. (min)	ft2*h*F/BTU										
29	Heat exchanged	154816500	BTU/h					MTD corrected		1.8	F	
30	Transfer rate, Service	35.79		Dirty	41		Clean	41	BTU/(h*ft2*F)			
31	CONSTRUCTION OF ONE SHELL							Sketch				
32			Shell Side			Tube Side						
33	Design/Test pressure	psi	150 / Code			470 / Code						
34	Design temperature	F	160			160						
35	Number passes per shell	1			1							
36	Corrosion allowance	in	0.0625			0.0625						
37	Connections	In	14 / 150 ANSI			8 / 300 ANSI						
38	Size/rating	Out	10 / 150 ANSI			10 / 300 ANSI						
39	in	Intermediate	/ 150 ANSI			/ 300 ANSI						
40	Tube No.	4276	OD	0.75	0.065	in	Length	8	ft	Pitch	0.9375	in
41	Tube type	Plain			Material	CS			Tube pattern	30		
42	Shell	CS			ID	OD	68	in	Shell cover			
43	Channel or bonnet	CS						Channel cover				
44	Tubesheet-stationary	CS						Tubesheet-floating				
45	Floating head cover							Impingement protection		Circular plate on bundle		
46	Baffle-crossing	CS		Type	single seg	Cut(%d)	44	hor	Spacing: c/c	30	in	
47	Baffle-long				Seal type				Inlet	29.9375		in
48	Supports-tube				U-bend				Type			
49	Bypass seal				Tube-tubesheet joint			groove/expand				
50	Expansion joint				Type							
51	RhoV2-Inlet nozzle	147	Bundle entrance	62	Bundle exit	21	lb/(ft*s2)					
52	Gaskets - Shell side				Tube Side							
53	Floating head											
54	Code requirements	ASME Code Sec VIII Div 1				TEMA class		B				
55	Weight/Shell	50123	Filled with water	69012.4	Bundle	33094.2		lb				
56	Remarks											
57												
58												

DIBUJOS MECANICOS





NOMBRE DEL DOCUMENTO

CLAVE DEL DOCUMENTO

REV.

**MEMORIA DE CALCULO
DE LÍNEAS**

ANEXO E

A

PLANTA

DEPARTAMENTO

AREA

CERRO PRIETO

PROCESO

**VAPOR Y GENERACION DE
ENERGIA**

No DE PROYECTO

INSTITUCIÓN

LOCALIZACION

MONT-001

UNAM, FES ZARAGOZA

BAJA CALIFORNIA, MEXICO

ESPECIALIDAD

TIPO DE DOCUMENTO

RECUPERACIÓN DE ENERGIA

MEMORIA DE CALCULO

REV.

FECHA

DESCRIPCION DE LA REVISION

COMPAÑÍA GENERADORA

CLIENTE

ELABORO

REVISO

APROBO

APROBO

FECHA

A

07/09/09

PARA REVISION Y/O COMENTARIOS

RMB

DOB

MEMORIA DE CÁLCULO DE LÍNEAS Y AISLAMIENTOS

DIAM. TUB. [=] in	CODIGO	SERVICIO	LINEA No.	ESPEC. TUBERIA	D.T.I.	DE	A	PRESION			TEMPERATURA. °C			FLUJO GAS / LIQUIDO m³/hr	DENSIDAD kg/m³	VISCOSIDAD cp	CEDULA DE TUBERIA	MATERIAL DE AISLAMIENTO	ESPESOR DE AISLAMIENTO [=] in	Q W/m²	Q NOM W/m²	CRITERIO CUMPLIMIENTO CON NOM	MEDIO DE PRUEBA	RELEVADO DE ESFUERZO	RAD. %	ANALISIS DE ESFUERZO	FASE	NOTAS
								OPERACIÓN BAR	DISEÑO BAR	PRUEBA BAR	OPER.	DIS.	AMB.															
SECCIÓN SOBRECALENTADORES																												
20"	LC	AGUA SALINA	1000	1S1	MONT-01-DT-001	TANQUES FLASH	DISTRIBUCIÓN	4	4.6	6	160	184	15	1625.5	922.88	0.1	20	FRP	3	99.36919716	169	Cumple	AGUA	---	---	---	LIQUIDO	
12"	LC	AGUA SALINA	1001	1S1	MONT-01-DT-001	20"-LC-1000-1S1-FRP3"	FA-101A	4	4.6	6	160	184	15	541.8	922.88	0.1	20	FRP	3	67.77752663	115	Cumple	AGUA	---	---	---	LIQUIDO	
12"	LC	AGUA SALINA	1002	1S1	MONT-01-DT-001	20"-LC-1000-1S1-FRP3"	FA-101B	4	4.6	6	160	184	15	541.8	922.88	0.1	20	FRP	3	67.77752663	115	Cumple	AGUA	---	---	---	LIQUIDO	
12"	LC	AGUA SALINA	1003	1S1	MONT-01-DT-001	20"-LC-1000-1S1-FRP3"	FA-101C	4	4.6	6	160	184	15	541.8	922.88	0.1	20	FRP	3	67.77752663	115	Cumple	AGUA	---	---	---	LIQUIDO	
12"	LC	AGUA SALINA	1004	1S1	MONT-01-DT-001	FA-101A	20"-LC-1010-1S1	2	2.3	3	120	138	15	505.02	942.5	0.23	20	---	---	---	---	---	AGUA	---	---	---	LIQUIDO	
12"	LC	AGUA SALINA	1005	1S1	MONT-01-DT-001	FA-101B	20"-LC-1010-1S1	2	2.3	3	120	138	15	505.02	942.5	0.23	20	---	---	---	---	---	AGUA	---	---	---	LIQUIDO	
12"	LC	AGUA SALINA	1006	1S1	MONT-01-DT-001	FA-101C	20"-LC-1010-1S1	2	2.3	3	120	138	15	505.02	942.5	0.23	20	---	---	---	---	---	AGUA	---	---	---	LIQUIDO	
3"	LC	CONDENSADO DE BAJA P.	1007	1S1	MONT-01-DT-001	EA-101A	20"-LC-1010-1S1	1.3	1.495	2	107	123.05	15	24.97	953.14	0.26	40	---	---	---	---	---	AGUA	---	---	---	LIQUIDO	
3"	LC	CONDENSADO DE BAJA P.	1008	1S1	MONT-01-DT-001	EA-101B	20"-LC-1010-1S1	1.3	1.495	2	107	123.05	15	24.97	953.14	0.26	40	---	---	---	---	---	AGUA	---	---	---	LIQUIDO	
3"	LC	CONDENSADO DE BAJA P.	1009	1S1	MONT-01-DT-001	EA-101C	20"-LC-1010-1S1	1.3	1.495	2	107	123.05	15	24.97	953.14	0.26	40	---	---	---	---	---	AGUA	---	---	---	LIQUIDO	
20"	LC	AGUA SALINA	1010	1S1	MONT-01-DT-001	RECOLECCION	LAGUNA DE SECADO	1.3	1.495	2	107	123.05	15	1625.5	953.14	0.26	40	---	---	---	---	---	AGUA	---	---	---	LIQUIDO	
1"	LC	CONDENSADO DE BAJA P.	1011	1S1	MONT-01-DT-001	ST-001	20"-LC-1010-1S1	1.3	1.495	2	107	123.05	15	2.1	953.14	0.26	40	FRP	1	16.93276252	24	Cumple	AGUA	---	---	---	LIQUIDO	
1"	LC	CONDENSADO DE BAJA P.	1012	1S1	MONT-01-DT-001	ST-002	20"-LC-1010-1S1	1.3	1.495	2	107	123.05	15	2.1	953.14	0.26	40	FRP	1	16.93276252	24	Cumple	AGUA	---	---	---	LIQUIDO	
1"	LC	CONDENSADO DE BAJA P.	1013	1S1	MONT-01-DT-001	ST-003	20"-LC-1010-1S1	1.3	1.495	2	107	123.05	15	2.1	953.14	0.26	40	FRP	1	16.93276252	24	Cumple	AGUA	---	---	---	LIQUIDO	
18"	LS	VAPOR DE BAJA P.	2000	1S1	MONT-01-DT-001	FA-101A	EA-101A	2	2.3	3	120	138	15	21081.0	1.13	0.01	40	FRP	3	65.66071187	120	Cumple	AGUA	---	---	---	GAS	
18"	LS	VAPOR DE BAJA P.	2001	1S1	MONT-01-DT-001	FA-101B	EA-101B	2	2.3	3	120	138	15	21081.0	1.13	0.01	40	FRP	3	65.66071187	120	Cumple	AGUA	---	---	---	GAS	
18"	LS	VAPOR DE BAJA P.	2002	1S1	MONT-01-DT-001	FA-101C	EA-101C	2	2.3	3	120	138	15	21081.0	1.13	0.01	40	FRP	3	65.66071187	120	Cumple	AGUA	---	---	---	GAS	
20"	OF	AMONIACO	3000A	1S3	MONT-01-DT-001 MONT-01-DT-002	EA-101A	GB-100A	30	34.5	43	120	138	15	18552.0	17.03	0.001	80	FRP	3	71.95700484	132	Cumple	AIRE	SI	100	SI	GAS	
20"	OF	AMONIACO	3000B	1S3	MONT-01-DT-001 MONT-01-DT-003	EA-101B	GB-100AB	30	34.5	43	120	138	15	18552.0	17.03	0.001	80	FRP	3	71.95700484	132	Cumple	AIRE	SI	100	SI	GAS	
20"	OF	AMONIACO	3000C	1S3	MONT-01-DT-001 MONT-01-DT-004	EA-101C	GB-100C	30	34.5	43	120	138	15	18552.0	17.03	0.001	80	FRP	3	71.95700484	132	Cumple	AIRE	SI	100	SI	GAS	
22"	OF	AMONIACO	3011A	1S3	MONT-01-DT-001 MONT-01-DT-002	EA-100A	EA-101A	30	34.5	43	35	40.25	15	23583.0	13.4	0.008	80	FRP	3	14.90407382	0	No Cumple	AIRE	SI	100	SI	GAS	
22"	OF	AMONIACO	3012B	1S3	MONT-01-DT-001 MONT-01-DT-003	EA-100B	EA-101B	30	34.5	43	35	40.25	15	23583.0	13.4	0.008	80	FRP	3	14.90407382	0	No Cumple	AIRE	SI	100	SI	GAS	
22"	OF	AMONIACO	3013C	1S3	MONT-01-DT-001 MONT-01-DT-004	EA-100C	EA-101C	30	34.5	43	35	40.25	15	23583.0	13.4	0.008	80	FRP	3	14.90407382	0	No Cumple	AIRE	SI	100	SI	GAS	
18"	DE	DESFOGUE DE AMONIACO	5000	1S4	TODOS	DE RECOLECCIÓN	FA-103	30	34.5	43	120	138	15	18552.0	17.03	0.001	80	---	---	---	---	---	AIRE	SI	101	SI	GAS	
18"	DE	DESFOGUE DE AMONIACO	5001	1S4	MONT-01-DT-001	EA-101A	18"-DE-5000-1S4	30	34.5	43	120	138	15	18552.0	17.03	0.001	80	---	---	---	---	---	AIRE	SI	101	SI	GAS	
18"	DE	DESFOGUE DE AMONIACO	5002	1S4	MONT-01-DT-001	EA-101B	18"-DE-5000-1S4	30	34.5	43	120	138	15	18552.0	17.03	0.001	80	---	---	---	---	---	AIRE	SI	101	SI	GAS	
18"	DE	DESFOGUE DE AMONIACO	5003	1S4	MONT-01-DT-001	EA-101C	18"-DE-5000-1S4	30	34.5	43	120	138	15	18552.0	17.03	0.001	80	---	---	---	---	---	AIRE	SI	101	SI	GAS	

SECCIÓN TURBOGENERADOR A																											
20"	OF	AMONIACO	3001A	1S3	MONT-01-DT-002	20"-OF-300A-1S3	22"-OF-3002A	30	34.5	43	120	138	15	18552.0	17.03	0.001	80	FRP	3	71.95700484	132	Cumple	AIRE	SI	100	SI	GAS
22"	OF	AMONIACO	3002A	1S3	MONT-01-DT-002	GB-100A	EA-100A	10	11.5	14	35	40.25	15	42820	7.38	0.008	80	FRP	3	14.90407382	0	No Cumple	AIRE	SI	100	SI	GAS
12"	OF	AMONIACO	3003A	1S3	MONT-01-DT-002	EA-100A	FA-102A	10	11.5	14	35	40.25	15	538	587	0.08	80	FRP	3	9.348624362	0	No Cumple	AGUA	SI	100	SI	LIQUIDO
12"	OF	AMONIACO	3004A	1S3	MONT-01-DT-002	FA-102A	14"-OF-3007A-1S3-FRP3*	10	11.5	14	35	40.25	15	538	587	0.08	80	FRP	3	9.348624362	0	No Cumple	AGUA	SI	100	SI	LIQUIDO
10"	OF	AMONIACO	3005A	1S3	MONT-01-DT-002	FA-102A	EA-102A	10	11.5	14	35	40.25	15	4282	7.83	0.08	80	FRP	3	8.139026906	0	No Cumple	AIRE	SI	100	SI	GAS
4"	OF	AMONIACO	3006A	1S3	MONT-01-DT-002	EA-102A	14"-OF-3007A-1S3-FRP3*	10	11.5	14	35	40.25	15	53.8	587	0.08	80	FRP	3	4.290233949	0	No Cumple	AGUA	SI	100	SI	LIQUIDO
14"	OF	AMONIACO	3007A	1S3	MONT-01-DT-002	4"-OF-3006A-1S3-FRP3* 10"-OF-3005A-1S3-FRP3*	TV-101A	10	11.5	14	35	40.25	15	538	587	0.08	80	FRP	3	10.10236635	0	No Cumple	AGUA	SI	100	SI	LIQUIDO
14"	OF	AMONIACO	3008A	1S3	MONT-01-DT-002	TV-101A	GA-100A	10	11.5	14	35	40.25	15	538	587	0.08	80	FRP	3	10.10236635	0	No Cumple	AGUA	SI	100	SI	LIQUIDO
14"	OF	AMONIACO	3009A	1S3	MONT-01-DT-002	TV-101A	12"-OF-3003A-1S3-FRP3*	10	11.5	14	35	40.25	15	538	587	0.08	80	FRP	3	10.10236635	0	No Cumple	AGUA	SI	100	SI	LIQUIDO
12"	OF	AMONIACO	3010A	1S3	MONT-01-DT-002	GA-100A	EA-100A	30	34.5	43	35	40.25	15	538	587	0.08	80	FRP	3	9.348624362	0	No Cumple	AGUA	SI	100	SI	LIQUIDO
4"	OF	AMONIACO	3012A	1S3	MONT-01-DT-002 MONT-01-DT-005	FA-103	GA-100A	10	11.5	14	20	23	15	65	590	0.08	80	---	---	---	---	---	AGUA	SI	100	SI	LIQUIDO
12"	CW	AGUA FRIA	4001A	1S2	MONT-01-DT-002 MONT-01-DT-005	24"-CW-4000-1S2	EA-102A	3	3.45	4	10	11.5	15	637	931	1.31	40	---	---	---	---	---	AGUA	---	---	---	LIQUIDO
12"	CW	AGUA FRIA	4002A	1S2	MONT-01-DT-002 MONT-01-DT-005	EA-102A	TE-5501	3	3.45	4	10	11.5	15	637	931	1.31	40	---	---	---	---	---	AGUA	---	---	---	LIQUIDO
4"	CW	AGUA FRIA	4003A	1S2	MONT-01-DT-002 MONT-01-DT-005	24"-CW-4000-1S2	EA-103A	3	3.45	4	10	11.5	15	70	931	1.31	40	---	---	---	---	---	AGUA	---	---	---	LIQUIDO
4"	CW	AGUA FRIA	4004A	1S2	MONT-01-DT-002 MONT-01-DT-005	EA-103A	TE-5501	3	3.45	4	10	11.5	15	70	931	1.31	40	---	---	---	---	---	AGUA	---	---	---	LIQUIDO
20"	DE	DESFOGUE DE AMONIACO	5004A	1S4	MONT-01-DT-002	EA-100A	18"-DE-5000-1S4	30	34.5	43	35	40.25	15	23583.0	13.4	0.008	80	FRP	3	13.70609616	0	No Cumple	AIRE	SI	100	SI	GAS
10"	DE	DESFOGUE DE AMONIACO	5005A	1S4	MONT-01-DT-002	FA-102A	18"-DE-5000-1S4	10	11.5	14	35	40.25	15	4282	7.83	0.08	80	FRP	3	8.139026906	0	No Cumple	AIRE	SI	100	SI	GAS
22"	DE	DESFOGUE DE AMONIACO	5006A	1S4	MONT-01-DT-002	22"-OF-3002A-1S2-FRP3*	18"-DE-5000-1S4	10	11.5	14	35	40.25	15	42820	7.38	0.008	80	FRP	3	14.90407382	0	No Cumple	AIRE	SI	100	SI	GAS
18"	DE	DESFOGUE DE AMONIACO	5007A	1S4	MONT-01-DT-002	20"-OF-3000A-1S2-FRP3*	18"-DE-5000-1S4	30	34.5	43	120	138	15	18552.0	17.03	0.001	80	FRP	3	65.66071187	120	Cumple	AIRE	SI	100	SI	GAS
SECCIÓN TURBOGENERADOR B																											
20"	OF	AMONIACO	3001B	1S3	MONT-01-DT-003	20"-OF-300B-1S3	22"-OF-3002B	30	34.5	43	120	138	15	18552.0	17.03	0.001	80	FRP	3	71.95700484	132	Cumple	AIRE	SI	100	SI	GAS
22"	OF	AMONIACO	3002B	1S3	MONT-01-DT-003	GB-100B	EA-100B	10	11.5	14	35	40.25	15	42820	7.38	0.008	80	FRP	3	14.90407382	0	No Cumple	AIRE	SI	100	SI	GAS
12"	OF	AMONIACO	3003B	1S3	MONT-01-DT-003	EA-100B	FA-102B	10	11.5	14	35	40.25	15	538	587	0.08	80	FRP	3	9.348624362	0	No Cumple	AGUA	SI	100	SI	LIQUIDO
12"	OF	AMONIACO	3004B	1S3	MONT-01-DT-003	FA-102B	14"-OF-3007B-1S3-FRP3*	10	11.5	14	35	40.25	15	538	587	0.08	80	FRP	3	9.348624362	0	No Cumple	AGUA	SI	100	SI	LIQUIDO
10"	OF	AMONIACO	3005B	1S3	MONT-01-DT-003	FA-102B	EA-102B	10	11.5	14	35	40.25	15	4282	7.83	0.08	80	FRP	3	8.139026906	0	No Cumple	AIRE	SI	100	SI	GAS
4"	OF	AMONIACO	3006B	1S3	MONT-01-DT-003	EA-102B	14"-OF-3007B-1S3-FRP3*	10	11.5	14	35	40.25	15	53.8	587	0.08	80	FRP	3	4.290233949	0	No Cumple	AGUA	SI	100	SI	LIQUIDO
14"	OF	AMONIACO	3007B	1S3	MONT-01-DT-003	4"-OF-3006B-1S3-FRP3* 10"-OF-3005B-1S3-FRP3*	TV-101B	10	11.5	14	35	40.25	15	538	587	0.08	80	FRP	3	10.10236635	0	No Cumple	AGUA	SI	100	SI	LIQUIDO
14"	OF	AMONIACO	3008B	1S3	MONT-01-DT-003	TV-101B	GA-100B	10	11.5	14	35	40.25	15	538	587	0.08	80	FRP	3	10.10236635	0	No Cumple	AGUA	SI	100	SI	LIQUIDO
14"	OF	AMONIACO	3009B	1S3	MONT-01-DT-003	TV-101B	12"-OF-3003B-1S3-FRP3*	10	11.5	14	35	40.25	15	538	587	0.08	80	FRP	3	10.10236635	0	No Cumple	AGUA	SI	100	SI	LIQUIDO
12"	OF	AMONIACO	3010B	1S3	MONT-01-DT-003	GA-100B	EA-100B	30	34.5	43	35	40.25	15	538	587	0.08	80	FRP	3	9.348624362	0	No Cumple	AGUA	SI	100	SI	LIQUIDO
4"	OF	AMONIACO	3012B	1S3	MONT-01-DT-003 MONT-01-DT-005	FA-103	GA-100B	10	11.5	14	20	23	15	65	590	0.08	80	---	---	---	---	---	AGUA	SI	100	SI	LIQUIDO

12"	CW	AGUA FRIA	4001B	1S2	MONT-01-DT-003 MONT-01-DT-005	24"-CW-4000-1S2	EA-102B	3	3.45	4	10	11.5	15	637	931	1.31	40	---	---	---	---	---	AGUA	---	---	---	LIQUIDO	
12"	CW	AGUA FRIA	4002B	1S2	MONT-01-DT-003 MONT-01-DT-005	EA-102B	TE-5501	3	3.45	4	10	11.5	15	637	931	1.31	40	---	---	---	---	---	AGUA	---	---	---	LIQUIDO	
4"	CW	AGUA FRIA	4003B	1S2	MONT-01-DT-003 MONT-01-DT-005	24"-CW-4000-1S2	EA-103B	3	3.45	4	10	11.5	15	70	931	1.31	40	---	---	---	---	---	AGUA	---	---	---	LIQUIDO	
4"	CW	AGUA FRIA	4004B	1S2	MONT-01-DT-003 MONT-01-DT-005	EA-103B	TE-5501	3	3.45	4	10	11.5	15	70	931	1.31	40	---	---	---	---	---	AGUA	---	---	---	LIQUIDO	
20"	DE	DESFOGUE DE AMONIACO	5004B	1S4	MONT-01-DT-003	EA-100B	18"-DE-5000-1S4	30	34.5	43	35	40.25	15	23583.0	13.4	0.008	80	FRP	3	13.70609616	0	No Cumple	AIRE	SI	100	SI	GAS	
10"	DE	DESFOGUE DE AMONIACO	5005B	1S4	MONT-01-DT-003	FA-102B	18"-DE-5000-1S4	10	11.5	14	35	40.25	15	4282	7.83	0.08	80	FRP	3	8.139026906	0	No Cumple	AIRE	SI	100	SI	GAS	
22"	DE	DESFOGUE DE AMONIACO	5006B	1S4	MONT-01-DT-003	22"-OF-3002B-1S2-FRP3*	18"-DE-5000-1S4	10	11.5	14	35	40.25	15	42820	7.38	0.008	80	FRP	3	14.90407382	0	No Cumple	AIRE	SI	100	SI	GAS	
18"	DE	DESFOGUE DE AMONIACO	5007B	1S4	MONT-01-DT-003	20"-OF-3000B-1S2-FRP3*	18"-DE-5000-1S4	30	34.5	43	120	138	15	18552.0	17.03	0.001	80	FRP	3	65.66071187	120	Cumple	AIRE	SI	100	SI	GAS	

SECCIÓN TURBOGENERADOR C

20"	OF	AMONIACO	3001C	1S3	MONT-01-DT-004	20"-OF-300C-1S3	22"-OF-3002C	30	34.5	43	120	138	15	18552.0	17.03	0.001	80	FRP	3	71.95700484	132	Cumple	AIRE	SI	100	SI	GAS	
22"	OF	AMONIACO	3002C	1S3	MONT-01-DT-004	GB-100C	EA-100C	10	11.5	14	35	40.25	15	42820	7.38	0.008	80	FRP	3	14.90407382	0	No Cumple	AIRE	SI	100	SI	GAS	
12"	OF	AMONIACO	3003C	1S3	MONT-01-DT-004	EA-100C	FA-102C	10	11.5	14	35	40.25	15	538	587	0.08	80	FRP	3	9.348624362	0	No Cumple	AGUA	SI	100	SI	LIQUIDO	
12"	OF	AMONIACO	3004C	1S3	MONT-01-DT-004	FA-102C	14"-OF-3007C-1S3-FRP3*	10	11.5	14	35	40.25	15	538	587	0.08	80	FRP	3	9.348624362	0	No Cumple	AGUA	SI	100	SI	LIQUIDO	
10"	OF	AMONIACO	3005C	1S3	MONT-01-DT-004	FA-102C	EA-102C	10	11.5	14	35	40.25	15	4282	7.83	0.08	80	FRP	3	8.139026906	0	No Cumple	AIRE	SI	100	SI	GAS	
4"	OF	AMONIACO	3006C	1S3	MONT-01-DT-004	EA-102C	14"-OF-3007AC-1S3-FRP3*	10	11.5	14	35	40.25	15	53.8	587	0.08	80	FRP	3	4.290233949	0	No Cumple	AGUA	SI	100	SI	LIQUIDO	
14"	OF	AMONIACO	3007C	1S3	MONT-01-DT-004	4"-OF-3006C-1S3-FRP3* 10"-OF-3005C-1S3-FRP3*	TV-101C	10	11.5	14	35	40.25	15	538	587	0.08	80	FRP	3	10.10236635	0	No Cumple	AGUA	SI	100	SI	LIQUIDO	
14"	OF	AMONIACO	3008C	1S3	MONT-01-DT-004	TV-101C	GA-100C	10	11.5	14	35	40.25	15	538	587	0.08	80	FRP	3	10.10236635	0	No Cumple	AGUA	SI	100	SI	LIQUIDO	
14"	OF	AMONIACO	3009C	1S3	MONT-01-DT-004	TV-101C	12"-OF-3003C-1S3-FRP3*	10	11.5	14	35	40.25	15	538	587	0.08	80	FRP	3	10.10236635	0	No Cumple	AGUA	SI	100	SI	LIQUIDO	
12"	OF	AMONIACO	3010C	1S3	MONT-01-DT-004	GA-100C	EA-100C	30	34.5	43	35	40.25	15	538	587	0.08	80	FRP	3	9.348624362	0	No Cumple	AGUA	SI	100	SI	LIQUIDO	
4"	OF	AMONIACO	3012C	1S3	MONT-01-DT-004 MONT-01-DT-005	FA-103	GA-100C	10	11.5	14	20	23	15	65	590	0.08	80	---	---	---	---	---	AGUA	SI	100	SI	LIQUIDO	
12"	CW	AGUA FRIA	4001C	1S2	MONT-01-DT-004 MONT-01-DT-005	24"-CW-4000-1S2	EA-102C	3	3.45	4	10	11.5	15	637	931	1.31	40	---	---	---	---	---	AGUA	---	---	---	LIQUIDO	
12"	CW	AGUA FRIA	4002C	1S2	MONT-01-DT-004 MONT-01-DT-005	EA-102C	TE-5501	3	3.45	4	10	11.5	15	637	931	1.31	40	---	---	---	---	---	AGUA	---	---	---	LIQUIDO	
4"	CW	AGUA FRIA	4003C	1S2	MONT-01-DT-004 MONT-01-DT-005	24"-CW-4000-1S2	EA-103C	3	3.45	4	10	11.5	15	70	931	1.31	40	---	---	---	---	---	AGUA	---	---	---	LIQUIDO	
4"	CW	AGUA FRIA	4004C	1S2	MONT-01-DT-004 MONT-01-DT-005	EA-103C	TE-5501	3	3.45	4	10	11.5	15	70	931	1.31	40	---	---	---	---	---	AGUA	---	---	---	LIQUIDO	
20"	DE	DESFOGUE DE AMONIACO	5004C	1S4	MONT-01-DT-004	EA-100C	18"-DE-5000-1S4	30	34.5	43	35	40.25	15	23583.0	13.4	0.008	80	FRP	3	13.70609616	0	No Cumple	AIRE	SI	100	SI	GAS	
10"	DE	DESFOGUE DE AMONIACO	5005A	1S4	MONT-01-DT-004	FA-102C	18"-DE-5000-1S4	10	11.5	14	35	40.25	15	4282	7.83	0.08	80	FRP	3	8.139026906	0	No Cumple	AIRE	SI	100	SI	GAS	
22"	DE	DESFOGUE DE AMONIACO	5006C	1S4	MONT-01-DT-004	22"-OF-3002C-1S2-FRP3*	18"-DE-5000-1S4	10	11.5	14	35	40.25	15	42820	7.38	0.008	80	FRP	3	14.90407382	0	No Cumple	AIRE	SI	100	SI	GAS	
18"	DE	DESFOGUE DE AMONIACO	5007C	1S4	MONT-01-DT-004	20"-OF-3000C-1S2-FRP3*	18"-DE-5000-1S4	30	34.5	43	120	138	15	18552.0	17.03	0.001	80	FRP	3	65.66071187	120	Cumple	AIRE	SI	100	SI	GAS	

	DOCUMENTOS DE REFERENCIA				REV.	ELAVORO	REVISO	FECHA	PROY. No.:	DOCUMENTO:				REV.	DESCRIPCION
	MONT-01-DT-001	DTI SECCIÓN SOBREALIMENTADORES	A	R.M.B.	D.O.B.	11-Sep-09	DEPTO:	PROCESO	MEMORIA DE CALCULO DE LINEAS Y AISLMIENTOS	A	PARA REVISION Y/O COMENTARIOS				
	MONT-01-DT-002,003,004	DTI'S SECCIÓN TURBOGENERADORES					LOCALIZACION:	FECHA	CLAVE DEL DOCUMENTO		HOJA 2 DE 2				
						SERVICIO:	11/SEPT/2009	ANEXO E							