

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA DE POSGRADO**  
**DIPLOMADO EN GEOTERMIA PARA AMERICA LATINA, EDICION 2019**



**TEMA:**

**Análisis Técnico y Recomendaciones para el Aprovechamiento del Recurso Geotérmico Disponible en Campos de Petróleo.**

**PRESENTA:**

**Omar Fernando Pinto Quintero**

**ASESOR:**

**Ing. Oscar Fernando Cideos**

**CIUDAD UNIVERSITARIA, NOVIEMBRE 2019**

## Contenido

Resumen.....	5
Introducción.....	6
1. Planteamiento del trabajo final .....	8
1.1 Planteamiento del problema .....	8
1.2 Justificación del estudio.....	8
1.3 Objetivos .....	8
1.3.1 Objetivo general .....	8
1.3.2 Objetivos específicos.....	8
2. Plantas de ciclo binario .....	9
2.1 Análisis termodinámico.....	9
2.2 Fluidos de trabajo .....	10
2.3 Consideraciones generales de plantas binarias en campos petroleros.....	11
2.3.1 Consideraciones de temperatura, flujo másico y corte de agua .....	12
2.3.2 Consideraciones de la capacidad de potencia del fluido geotérmico .....	12
2.3.3 Consideraciones químicas del agua geotérmica.....	14
2.4 Fabricantes de plantas de ciclo binario.....	14
2.5 Casos de estudio.....	16
3. Modelamiento de plantas de ciclo binario.....	17
3.1 Datos de la zona de estudio .....	17
3.2 Modelo de la planta geotérmica binaria a utilizar en la simulación .....	18
3.3 Simulación de planta binaria con datos de campos petroleros.....	19
3.3.1 Zona 1 .....	19
3.3.2 Zona 2 .....	22
3.3.3 Resultados para las zonas 1 y 2.....	24
4. Parámetros económicos de plantas binarias en coproducción de energía .....	25
5. Discusión .....	26
6. Conclusiones y recomendaciones .....	27
7. Referencias bibliográficas .....	28
Agradecimientos .....	29
8. Anexos.....	30

## Lista de Figuras

Figura 1. Diagrama básico del proceso de una planta de ciclo binario (Mwagomba, 2016) .....	10
Figura 2. Diagrama T-S de un ciclo binario básico (Mwagomba, 2016).....	10
Figura 3. Correlación teórica y empírica de potencia neta para una producción de 1000 gpm (63.1 l/s) vs temperatura del agua geotérmica (Sanyal & Butler, 2010).....	13
Figura 4. Impacto de la temperatura ambiente en la capacidad de potencia neta del agua del campo petrolero (Sanyal & Butler, 2010).....	13
Figura 5. Componentes químicos del agua caliente medidos y recomendados (Cuadrado, Colorado, Cobos, & Vásquez, 2015).....	14
Figura 6. Localización de los campos petroleros del Piedemonte Colombiano (SGC, 2019) .....	17
Figura 7. Modelo de la planta binaria con regeneración donde se realizarán las simulaciones .....	18
Figura 8. Presión de vaporización para diferentes fluidos de trabajo y temperatura de salida del agua de 72°C – Zona 1 .....	19
Figura 9. Potencia de la turbina en función de la presión de vaporización para diferentes fluidos de trabajo – Zona 1.....	20
Figura 10. Flujo másico para cada fluido de trabajo en función de la temperatura de salida del agua geotérmica – Zona 1 .....	21
Figura 11. Presión de vaporización para diferentes fluidos de trabajo y temperatura de salida del agua de 72°C – Zona 2 .....	22
Figura 12. Trabajo de la turbina en función de la presión de vaporización para diferentes fluidos de trabajo – Zona 2.....	23
Figura 13. Flujo másico para cada fluido de trabajo en función de la temperatura de salida del agua geotérmica – Zona 2 .....	24

## Lista de Tablas

Tabla 1. Propiedades de fluidos de trabajo usados en plantas binarias (Mwagomba, 2016).....	11
Tabla 2. Datos de producción de la cuenca Los Angeles, California (Bennett, Li, & Horne, 2012).....	12
Tabla 3. Empresas fabricantes de plantas binarias para bajas temperaturas y caudales .....	14
Tabla 4. Especificaciones técnicas de dos fabricantes de plantas binarias para su utilización en campos petroleros .....	15
Tabla 5. Eficiencias para diferentes tecnologías y fabricantes de plantas binarias	16

Tabla 6. Características técnicas de plantas binarias usadas en campos petroleros .....	16
Tabla 7. Datos del agua geotérmica disponible en las zonas de estudio.....	17
Tabla 8. Datos obtenidos a partir del modelamiento de datos de las zonas 1 y 2..	24
Tabla 9. Parámetros económicos para dos plantas binarias con aplicación en campos petroleros .....	25
Tabla 10. Análisis económico para diferentes campos en función de equipos fabricados por Calnetix. ....	25

### **Lista de Anexos**

Anexo 1. Ficha técnica del equipo CLIMEON HP 150.....	30
Anexo 2. Brochure del fabricante “Green Thermal Energy Technologies” .....	35
Anexo 3. Ficha técnica del equipo THERMAPOWER (ORC) .....	38

## Resumen

La generación de energía eléctrica a partir del aprovechamiento del recurso geotérmico encontrado en campos de petróleo, es posible debido a la tecnología disponible en plantas binarias o del tipo Organic Rankine Cycle (ORC) en cuanto a la transformación de calor en electricidad. El uso de temperaturas más bajas de agua y mejores eficiencias de las plantas, está permitiendo de aprovechamiento de este recurso geotérmico que antes era inviable tanto técnica como económicamente. El presente documento muestra diferentes fabricantes de plantas binarias (como Climeon, Turboden, Calnetix Technologies, Ormat Technologies Inc.) con eficiencias entre 6% y 14%, para aplicaciones de media a baja temperatura en campos petroleros y sus características técnicas y análisis económico. A partir de datos de temperatura de agua de 82 °C y 88 °C con diferencial de salida de 10°C, y flujo másico de 61 kg/s y 99 kg/s de dos campos petroleros localizados en el Piedemonte Colombiano, se modela y calcula la potencia generada en función de cuatro fluidos de trabajo correspondientes a R123, R245fa, R134a e Isopentano. Los resultados permitieron calcular potencias de aproximadamente 200 kW para la zona 1 y 320 kW para la zona 2. El fluido de trabajo que mejores resultados aportó fue el Isopentano al considerar los valores más bajos de presión de evaporación y flujo másico de fluido de trabajo, además de la mayor potencia generada. Finalmente, se concluye que es posible implementar la tecnología de plantas binarias para la generación de energía eléctrica a partir de las aguas calientes obtenidas en campos petroleros Colombianos.

### Palabras claves:

Plantas binarias, plantas Organic Rankine Cycle (ORC), coproducción, campos petroleros.

## Introducción

El entorno económico actual y el inminente cambio climático debido a la combustión de hidrocarburos hacen que el uso de fuentes de energía alternativas, incluida la geotérmica, sea imperativo para el futuro cercano. La energía geotérmica se ha utilizado desde principios del siglo XX para la producción de electricidad en más de veinte países (Davis & Michaelides, 2009). Cuando los hidrocarburos son producidos desde formaciones rocosas en profundidad, agua también es extraída. Esta agua es conocida como agua de *coproducción*. El tratamiento del agua producida desde los campos petroleros es un costo directo para el operador del pozo y cuesta más que todos los demás servicios combinados (Augustine & Falkenstern, 2012).

Una de las principales diferencias entre pozos geotérmicos y petroleros es la tasa de producción, donde usualmente la tasa de producción en pozos petroleros es mucho menor que la de pozos geotérmicos (Xin, Liang, Hu, & Li, 2012).

Los recursos geotérmicos que se utilizan hoy en día son esencialmente recursos de alta temperatura, donde los pozos de profundidad moderada (1000-2000 m) se introducen en los acuíferos y producen vapor o una mezcla de vapor y agua. Dichos recursos se utilizan con turbinas de vapor (por ejemplo, géiseres) o en plantas de flasheo simple y doble (por ejemplo, Wairakei e Imperial Valley). Dado que la mayoría de los recursos acuosos a alta temperatura se han utilizado, la próxima expansión de las plantas de energía geotérmica será necesariamente con recursos de temperatura más baja donde el agua puede salir a la superficie como líquido a temperaturas en el rango de 90-150 °C. Los sistemas geotérmicos binarios, que utilizan un fluido secundario como un refrigerante o un hidrocarburo, se usan típicamente para el desarrollo y la explotación de dichos recursos (Davis & Michaelides, 2009).

Todas las cuencas sedimentarias tienen potencial para el desarrollo de energía geotérmica debido a la existencia de acuíferos profundos que disponen de altas temperaturas y alta capacidad de producción. Los avances en el desarrollo comercial de Ciclos Orgánicos de Rankine (Organic Rankine Cycle – ORC) y otras tecnologías de conversión de calor-energía, hacen la generación de energía geotérmica económica con temperaturas de agua tan bajas como 90 °C y tasas de flujo de 55.2 l/s (30,000 BPD) (Gosnold, y otros, 2010).

Hay tres tipos de pozos petroleros con potencial de suplir energía geotérmica para la generación de energía eléctrica: a) pozos petroleros productores con corte de agua, b) pozos petroleros abandonados por el alto corte de agua y c) pozos de salmuera geopresurizada con gas disuelto (Sanyal & Butler, 2010).

La capacidad de energía de los pozos en la primera categoría es determinada principalmente por la tasa de producción de agua y su temperatura, la temperatura ambiente y la eficiencia de la planta geotérmica. Los factores que controlan la temperatura de cabeza de pozo son: temperatura de formación, profundidad del pozo, diámetro del pozo y tasa de producción. La capacidad de energía para un pozo abandonado depende de: a) la tasa de producción y temperatura del agua producida, b) temperatura ambiente, c) eficiencia de planta geotérmica, d) salinidad del agua, e) contenido de gas en el fluido

producido, f) cantidad de calor del gas y g) las características del equipo usado para generar energía del gas producido. La tasa de producción de agua y gas de un pozo dependen de las propiedades hidráulicas de la formación, el contenido de gas en el agua de formación, temperatura y presión de la formación, y el diseño del pozo. La capacidad energética de un pozo geopresurizado es determinada por los factores considerados anteriormente para un pozo abandonado, más la magnitud de la sobrepresión en la formación (Sanyal & Butler, 2010).

El presente documento muestra el planteamiento del problema, justificación y objetivos para la investigación sobre el análisis técnico y recomendaciones para el aprovechamiento del recurso geotérmico disponible en campos petroleros. Posteriormente se muestra un marco teórico sobre plantas binarias o del tipo ORC, junto con análisis termodinámico, estimación de fluidos de trabajo disponibles en el mercado, consideraciones de temperatura, flujo másico, corte de agua, capacidad de potencia, química del agua, fabricantes de plantas binarias para aplicaciones en campos petroleros y algunos casos de estudio. Después se realiza un modelamiento de la implementación de una planta binaria con datos aproximados de dos zonas de estudio y cuatro fluidos de trabajo (Isopentano, R123, R134a y R245fa), para posteriormente realizar el análisis económico de la implementación de este tipo de plantas a partir de información disponible en artículos. Finalmente se presenta la discusión de los datos modelados y las respectivas conclusiones y recomendaciones sobre la implementación y puesta en marcha de un proyecto piloto de coproducción para campos petroleros localizados en Colombia.

Los resultados obtenidos muestran la viabilidad de implementar la tecnología de plantas binarias en la generación de energía eléctrica para el aprovechamiento del recurso geotérmico disponible en campos petroleros.

## **1. Planteamiento del trabajo final**

### **1.1 Planteamiento del problema**

El aprovechamiento del recurso geotérmico disponible en campos de petróleo producto de los altos porcentajes de producción de agua, es una opción válida para la generación de electricidad al usar tecnologías modernas de generación de energía como las plantas binarias. ¿A partir del análisis técnico, sería posible proponer recomendaciones en cuanto a la implementación de esta tecnología para la generación de energía eléctrica?

### **1.2 Justificación del estudio**

Colombia aún no cuenta con el primer desarrollo y puesta en marcha de la primera planta geotérmica, sin embargo, dispone de suficientes campos petroleros con potencial de generación de energía eléctrica a partir del aprovechamiento del agua caliente obtenida en sus pozos. El desarrollo de esta tecnología podría ser la puerta de entrada para el inicio del desarrollo geotérmico Colombiano en cuanto a generación eléctrica, a su vez, los campos petroleros podrían aprovechar un recurso geotérmico que es desechado y que traería impactos positivos en cuanto a eficiencia energética, reducción de costos de operación, incremento de la vida del campo y disminución de la huella de carbono o impacto ambiental del campo.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo general**

Evaluar técnicamente la implementación de plantas binarias para la generación de electricidad a partir del aprovechamiento del recurso geotérmico disponible en campos de petróleo.

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Investigar casos de estudio de la implementación de plantas binarias para la generación de energía eléctrica en campos petroleros.
- Investigar fluidos de trabajo empleados en plantas binarias y sus características principales.
- Recopilar lista de fabricantes de plantas binarias para usos en campos petroleros.
- Consideración química del fluido geotérmico
- Consideraciones de caudal, presión y temperatura del fluido geotérmico extraído en campos petroleros y modelamiento de planta binaria en software EES.

## **2. Plantas de ciclo binario**

Las plantas geotérmicas de ciclo binario, también conocidas como plantas de Ciclo Orgánico de Rankine (ORC, por sus siglas en inglés) son usadas para generar electricidad desde recursos geotérmicos de media a baja temperatura. Estas plantas, normalmente usan dos ciclos con fluidos diferentes, el fluido geotérmico en un ciclo como fuente de calor y un fluido de trabajo secundario en otro ciclo, el cual es orgánico y posee un punto de ebullición más bajo y alta presión de vapor a bajas temperaturas cuando se compara con el agua.

El rango de temperaturas óptimo para utilizar plantas binarias puede variar desde 85 – 220 °C. Si un ciclo binario es aplicado para el límite superior de temperatura, hay problemas de estabilidad térmica con el fluido orgánico, y si es aplicado en el límite inferior de temperatura el proyecto podría ser impráctico y no viable económicamente (Mwagomba, 2016).

### **2.1 Análisis termodinámico**

La representación más básica de una planta binaria, se puede observar en la Figura 1. La energía termal del fluido geotérmico en el primer ciclo es transferido a el segundo fluido de trabajo en los intercambiadores de calor. Generalmente hay dos pasos en el proceso de calentamiento-ebullición, donde el fluido de trabajo es inicialmente calentado en el pre-calentador y llevado a su punto de ebullición y posteriormente evaporado en el vaporizador donde sale como vapor saturado. El fluido de trabajo vaporizado es dirigido a la turbina donde es expandido. La turbina es acoplada al generador donde se produce la electricidad. Después el vapor es condensado y regresado al intercambiador de calor por medio de una bomba formando un ciclo cerrado (Figura 1). El diagrama del proceso termodinámico para la planta binaria se observa en la Figura 2.

El punto (a) es localizado después de la bomba de circulación, donde la presión del fluido de trabajo es incrementada. El fluido de trabajo es pasado a través del pre-calentador al punto (b), y después cambia de fase de líquido a vapor en el vaporizador (c) donde su temperatura y presión se incrementa. El fluido vaporizado es expandido a través de una turbina en un proceso isoentrópico donde se genera trabajo y llega al punto (d). El vapor es entonces enfriado a temperatura de condensación y después condensado (e) y finalmente impulsado por la bomba donde nuevamente el ciclo es repetido (Figura 2).

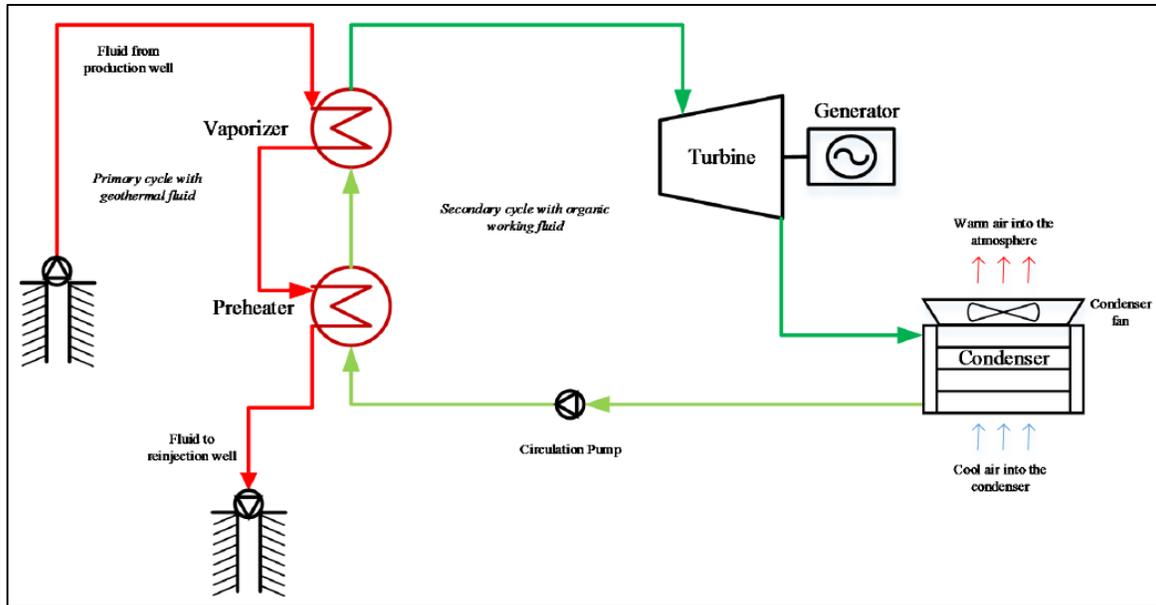


Figura 1. Diagrama básico del proceso de una planta de ciclo binario (Mwagomba, 2016)

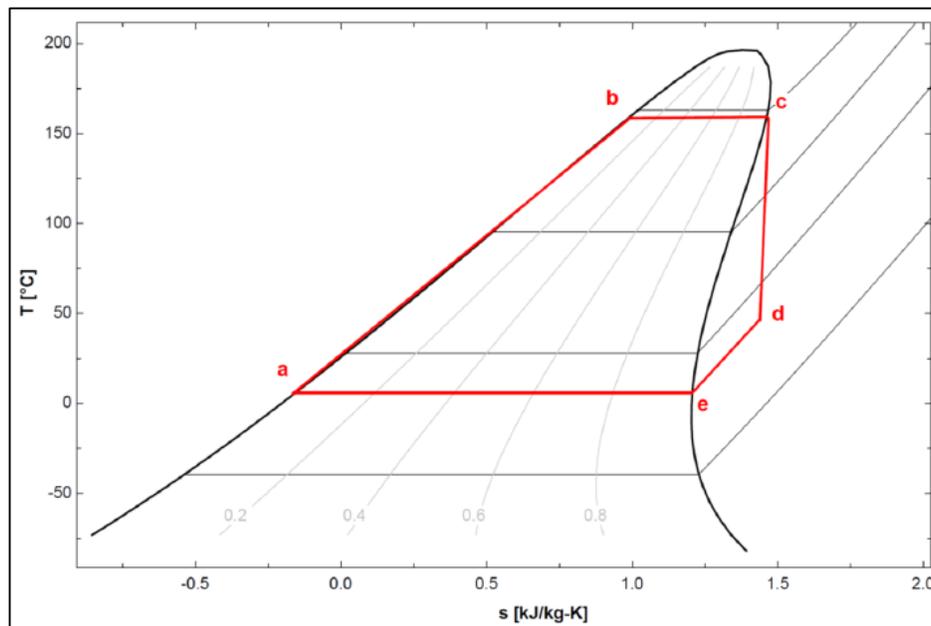


Figura 2. Diagrama T-S de un ciclo binario básico (Mwagomba, 2016)

## 2.2 Fluidos de trabajo

La selección del fluido de trabajo utilizado en una planta binaria requiere consideraciones del tipo de 1) seguridad ambiental y salud, y 2) desempeño-rendimiento. La consideración del tipo de seguridad ambiental y salud contempla temas como inflamabilidad, toxicidad e impacto ambiental como resultado de la interacción del fluido con el medio ambiente. El

objetivo en la elección del fluido de trabajo es disponer de un fluido con un nivel más bajo de incendio, al mismo tiempo seguro para trabajar, en el caso de que se encuentre en el aire algún porcentaje de su volumen.

Después se debe considerar el desempeño del fluido de trabajo en términos de su eficiencia térmica, donde se debe utilizar la mayor parte del calor disponible en el recurso. El rendimiento del fluido considera las propiedades termodinámicas del fluido de trabajo que al final afectan el rendimiento general de la planta y, por lo tanto, afectan el costo general de la planta de energía. Algunos de los factores que deben considerarse en la elección del fluido de trabajo incluyen: la temperatura crítica del fluido, la presión crítica y la eficiencia térmica del ciclo.

En la Tabla 1 se compilan y comparan algunos fluidos que son comúnmente usados en plantas binarias de acuerdo a su temperatura crítica, presión crítica, toxicidad, inflamabilidad, potencial de agotamiento de ozono (ODP, siglas en inglés) y potencial de calentamiento global (GWP, siglas en inglés). El GWP es considerado a ser relativo a la cantidad de calor que puede ser atrapado por masa similar de dióxido de carbón.

*Tabla 1. Propiedades de fluidos de trabajo usados en plantas binarias (Mwagomba, 2016)*

Fluid	Formula	Critical Temp (°C)	Critical Pressure (bar)	Toxicity	Flammability	ODP	GWP
R-12	CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	-	-	Non-toxic	Non-flammable	1	4500
R-114	C <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> F <sub>4</sub>	-	-	Non-toxic	Non-flammable	0.7	5850
Propane	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	96.95	42.36	low	very high	0	3
i-Butane	i-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	135.92	36.85	low	very high	0	3
n-Butane	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	150.8	37.18	low	very high	0	3
i-Pentane	i-C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	187.8	34.09	low	very high	0	3
n-Pentane	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	193.9	32.4	low	very high	0	3
Ammonia	NH <sub>3</sub>	133.65	116.27	low	lower	0	0
Water	H <sub>2</sub> O	374.14	220.89	Non-toxic	Non-flammable	0	-

Los fluidos presentados comparados con el agua, muestran valores bajos de temperatura y presión crítica. Esto ayuda a reducir las pérdidas termodinámicas en los intercambiadores de calor, haciendo los fluidos ideales para su uso en plantas binarias. Actualmente, los fluidos R-12 y R-114 no son utilizados en plantas binarias debido a su alto impacto ambiental por los altos niveles de ODP y GWP.

### **2.3 Consideraciones generales de plantas binarias en campos petroleros**

La producción de agua obtenida en los campos petroleros es separada del crudo y gas y reinyectada nuevamente. Si esta agua tiene temperatura adecuada, es posible extraer su energía geotérmica y generar energía eléctrica antes de la reinyección. Para un proyecto geotérmico de este tipo de tecnología (*coproducción*) en campos petroleros activos, no se

tendría costos de perforación comparado a un proyecto geotérmico convencional, donde los costos típicos de perforación varían entre el 30-40 % del total del costo capital del proyecto. Como tal, el costo capital para un proyecto geotérmico de coproducción puede ser significativamente más bajo por capacidad de kilovatio generado que para un proyecto geotérmico convencional (Sanyal & Butler, 2010). El potencial de capacidad de energía de un pozo petrolero o un grupo de pozos, produciendo un corte de agua sería determinado principalmente por las siguientes variables:

- a) Relación del agua producida desde el pozo o grupo de pozos
- b) Temperatura del agua producida en el punto de recolección o la salida del tanque de almacenamiento
- c) Salinidad del agua
- d) Temperatura ambiente en el sitio vs temperatura del agua
- e) Eficiencia de la planta a ser usada

### 2.3.1 Consideraciones de temperatura, flujo másico y corte de agua

Los datos de temperatura y producción mostrados en la Tabla 2, corresponden a algunos campos de petróleo localizados en la cuenca de Los Ángeles, California - USA. Es importante mencionar que la temperatura oscila entre los 63–100 °C y el corte de agua es superior al 92% e incluso alcanza valores máximos del 98%. (Xin, Liang, Hu, & Li, 2012)

*Tabla 2. Datos de producción de la cuenca Los Angeles, California (Bennett, Li, & Horne, 2012)*

Campo	Temperatura promedio del reservorio [°C]	Producción combinada a Marzo 2011 [kg/s]	Corte de agua [%]
Beverly Hills	97	49	92
Long Beach	79	230	97
Inglewood	68	674	97
Santa Fe Springs	73	183	98
Seal Beach	100	43	95
Wilmington (All)	63	2514	98
Wilmington (UT, LT, UP, Ford, 237)	77	856	97

### 2.3.2 Consideraciones de la capacidad de potencia del fluido geotérmico

La Figura 3 muestra la capacidad de potencia neta por 1000 gpm (63.1 l/s) de agua en función de su temperatura. La correlación se basó en un modelo termodinámico que usó 15 datos de plantas binarias en operación. Considerando que estas plantas representan cuatro diferentes tecnologías (Ormat, United Technologies, Barber Nicholls y Ben Holt) y un amplio rango de temperatura ambiente involucrada, la correlación teórica y empírica

es buena. Esta correlación puede ser usada para evaluar la capacidad de potencia disponible desde la relación de producción de agua a una temperatura dada. Sin embargo, la correlación aplica para agua pura, si el agua presenta significativa salinidad la capacidad de potencia por gpm sería correspondientemente más baja.

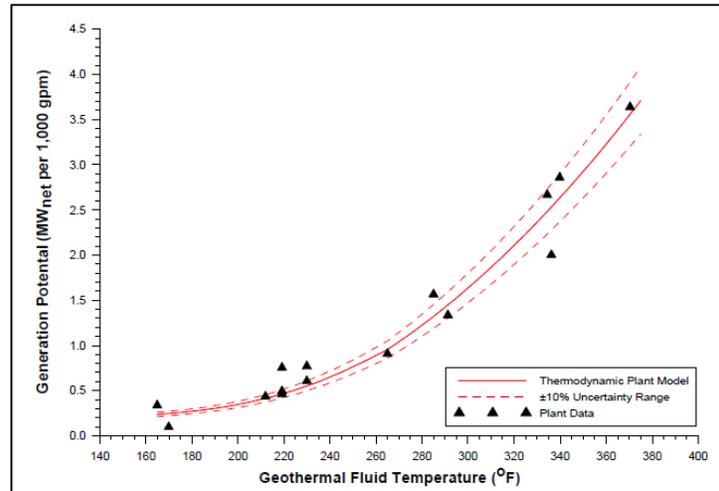


Figura 3. Correlación teórica y empírica de potencia neta para una producción de 1000 gpm (63.1 l/s) vs temperatura del agua geotérmica (Sanyal & Butler, 2010)

La potencia eléctrica disponible de la relación de producción de agua a una temperatura dada en el tanque de almacenamiento, será influenciada por la temperatura ambiente. La Figura 4 muestra la potencia eléctrica neta en Watts disponible por B/D de agua versus la temperatura del agua para las condiciones de temperatura ambiente representativas de Texas (70°F / 21.1°C) y Alaska (40°F / 4.4°C).

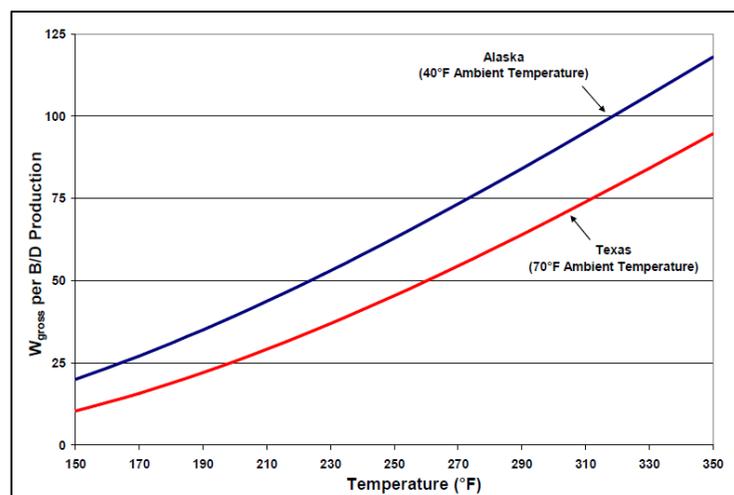


Figura 4. Impacto de la temperatura ambiente en la capacidad de potencia neta del agua del campo petrolero (Sanyal & Butler, 2010)

### 2.3.3 Consideraciones químicas del agua geotérmica

A partir de las características químicas del agua, la Figura 5 presenta la composición química y acidez del agua medida en campos petroleros de Colombia, junto con los valores recomendados por fabricantes de plantas binarias. Es posible observar que los valores medidos son inferiores a los máximos recomendados (Cuadrado, Colorado, Cobos, & Vásquez, 2015).

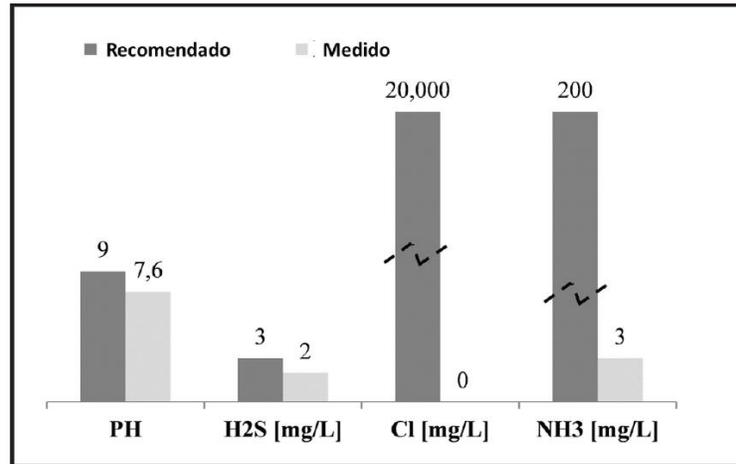


Figura 5. Componentes químicos del agua caliente medidos y recomendados (Cuadrado, Colorado, Cobos, & Vásquez, 2015)

### 2.4 Fabricantes de plantas de ciclo binario

Las empresas mostradas en la Tabla 3, corresponden a empresas fabricantes de plantas de ciclo binario adaptadas a la generación de energía eléctrica de media a baja temperatura y caudal.

Tabla 3. Empresas fabricantes de plantas binarias para bajas temperaturas y caudales

Empresa	Sitio WEB
Ener-G-Rotors	<a href="http://www.ener-g-rotors.com/">http://www.ener-g-rotors.com/</a>
Turboden	<a href="https://www.turboden.com/">https://www.turboden.com/</a>
Climeon	<a href="https://climeon.com/geothermal-plants/">https://climeon.com/geothermal-plants/</a>
Green Thermal Energy Technologies	<a href="http://www.g-tet.com/">http://www.g-tet.com/</a>
Access Energy (Calnetix Technologies)	<a href="http://www.access-energy.com/applications.html#geo">http://www.access-energy.com/applications.html#geo</a>
Ormat Technologies Inc.	<a href="https://www.ormat.com/en/home/a/main/">https://www.ormat.com/en/home/a/main/</a>
United Technologies	<a href="https://www.utc.com/">https://www.utc.com/</a>
Barber-Nichols Inc.	<a href="https://www.barber-nichols.com/industries/energy">https://www.barber-nichols.com/industries/energy</a>

Las plantas binarias diseñadas a esta escala de temperatura y caudal, son usualmente construidas en pequeñas unidades modulares del orden de unos pocos kWe a unos pocos MWe de capacidad, las cuales al ser juntadas crean una planta de energía de unos pocos MWe. Esta configuración modular hace que las plantas de energía binaria sean rentables y un medio confiable de generación de electricidad geotérmica para recursos geotérmicos de media a baja temperatura (Mwagomba, 2013).

La Tabla 4 muestra las especificaciones técnicas de dos empresas fabricantes de plantas binarias modulares de baja temperatura. Estas especificaciones se pueden observar con mayor detalle en el *Anexo 1*, *Anexo 2* y *Anexo 3.g*

*Tabla 4. Especificaciones técnicas de dos fabricantes de plantas binarias para su utilización en campos petroleros*

Parámetro	Descripción	
	CALNETIX (The Thermapower ORC 125XLT)	CLIMEON (HP 150)
Potencia	125 kW Netos	150 kW
Voltaje/Frecuencia	380-480 VAC; 50/60 Hz	400-440 VAC; 50/60 Hz
Temperatura de entrada Agua	130°C (266°F)	70-120 °C
Tasa de flujo Agua	-	10-35 l/s
Temperatura agua de enfriamiento	-	0-35 °C
Tasa de flujo agua de enfriamiento	-	10-35 l/s
Temperatura ambiente	-	5-45 °C
Humedad	-	20-85 %
Fluido de trabajo	R245fa	-
Peso del sistema	7,800 kg (17,200 lb)	-
Tamaño del sistema	20 ft ISO Container	-
Peso del módulo	2,948 kg (6,500 lb)	9,000 kg (10,200 lb)
Tamaño del módulo	113 in (287 cm) x 50 in (127 cm) x 80 in (203 cm)	3009x2085x2271 mm (DWH)
Gabinete Eléctrico - Control	-	600x600x2100 mm, 400 kg
Gabinete Eléctrico - Potencia	-	600x1600x2100 mm, 1000 kg
Entrada/Salida Evaporador	4" CL300 RF ASME B16.5 Flange	-
Entrada/Salida Condensador	6" CL300 RF ASME B16.5 Flange	-
Conexión a la red	3-Fases, 3 alambres con tierra	-
Conexión a internet	Ethernet CAT-5 Cable desde cliente de internet	-

Adicionalmente, en la Tabla 5 se observan valores de eficiencias para diferentes fabricantes y tecnologías (Gosnold, Abudureyimu, Tsiryapkina, Wang, & Ballesteros, 2019). Es posible apreciar cómo ha mejorado la tecnología en cuanto a las eficiencias y también en cuanto al aprovechamiento de recursos de baja temperatura.

*Tabla 5. Eficiencias para diferentes tecnologías y fabricantes de plantas binarias*

<b>Tecnología de plantas binarias</b>	<b>Eficiencia</b>
Pratt & Whitney 200 kW with 74 °C water	6%
Calnetix 125 kW with 90 °C water	7%
Calnetix 125 kW with 140 °C water	14%
Climeon 150 kW with 90 °C water	14%

## 2.5 Casos de estudio

A continuación se presentan las características técnicas de dos plantas binarias utilizadas en el aprovechamiento del recurso geotérmico disponible en dos campos petroleros localizados en USA y China (Tabla 6).

*Tabla 6. Características técnicas de plantas binarias usadas en campos petroleros*

<b>Parámetro</b>	<b>Descripción/Valor</b>	
	(Reinhardt, Johnson, & Popovich, 2011)	(Xin, Liang, Hu, & Li, 2012)
Relación de flujo de agua [l/s]	73.6	33.3
Temperatura de entrada de agua [°C]	76.7	110
Temperatura de salida de agua [°C]	66.7	85 - 90
Fluido de trabajo	Isopentano	R123
Potencia instalada [kW]	-	400
Potencia de salida [kW]	180	360
Potencia Neta [kW]	132	310
Temperatura ambiente [°C]	10	-
Localización	NPR-3, Wyoming - USA	Huabei Oilfield, China
Fabricante	Ormat Technologies	Jiujiang Power

### 3. Modelamiento de plantas de ciclo binario

El modelamiento se realizará a partir de datos disponibles de dos campos petroleros localizados en el Piedemonte Llanero de los departamentos del Meta y Casanare – Colombia (Figura 6).



Figura 6. Localización de los campos petroleros del Piedemonte Colombiano (SGC, 2019)

#### 3.1 Datos de la zona de estudio

Los datos de las zonas de estudio se observan en la Tabla 7. Estas zonas de estudio se llamarán Zona 1 y Zona 2. Los datos disponibles corresponden a flujo másico, temperaturas de entrada y salida del agua o recurso geotérmico y temperatura base del condensador. La diferencia entre la temperatura de entrada y salida de agua para los dos casos se asumió de 10 °C. Esta diferencia corresponde al dato brindado por el fabricante Ormat Technologies Inc., para la planta binaria instalada en el campo petrolero NPR-3 en Wyoming – USA.

Tabla 7. Datos del agua geotérmica disponible en las zonas de estudio

Parámetro	Cantidad	
	Zona 1	Zona 2
Flujo másico [kg/s]	61	99
Temperatura de entrada del agua [°C]	82	88
Temperatura de salida del agua [°C]	72	78
Temperatura del condensador [°C]	37	37

### 3.2 Modelo de la planta geotérmica binaria a utilizar en la simulación

El modelo de la planta geotérmica donde se realizarán las diferentes simulaciones corresponde a una planta binaria con regeneración (Figura 7). Este modelo permite seleccionar diferentes fluidos de trabajo. Para el análisis, se seleccionaron cuatro fluidos de trabajo que son el R123, R245fa, R134a e Isopentano. Estos fluidos fueron seleccionados debido a que son los utilizados por fabricantes de plantas binarias como Ormat Technologies Inc., Jiujiang Power y Calnetix. Para el conocimiento y la selección final del fluido de trabajo es importante revisar las fichas técnicas, información de seguridad y recomendaciones.

En la simulación se tienen como parámetros de entrada el flujo másico del recurso geotérmico ( $m_{well}$ ) y sus temperaturas de entrada y salida  $T_{s,1}$  y  $T_{s,3}$  respectivamente, también la temperatura de condensación  $T_{cond}$  del fluido de trabajo (Figura 7).

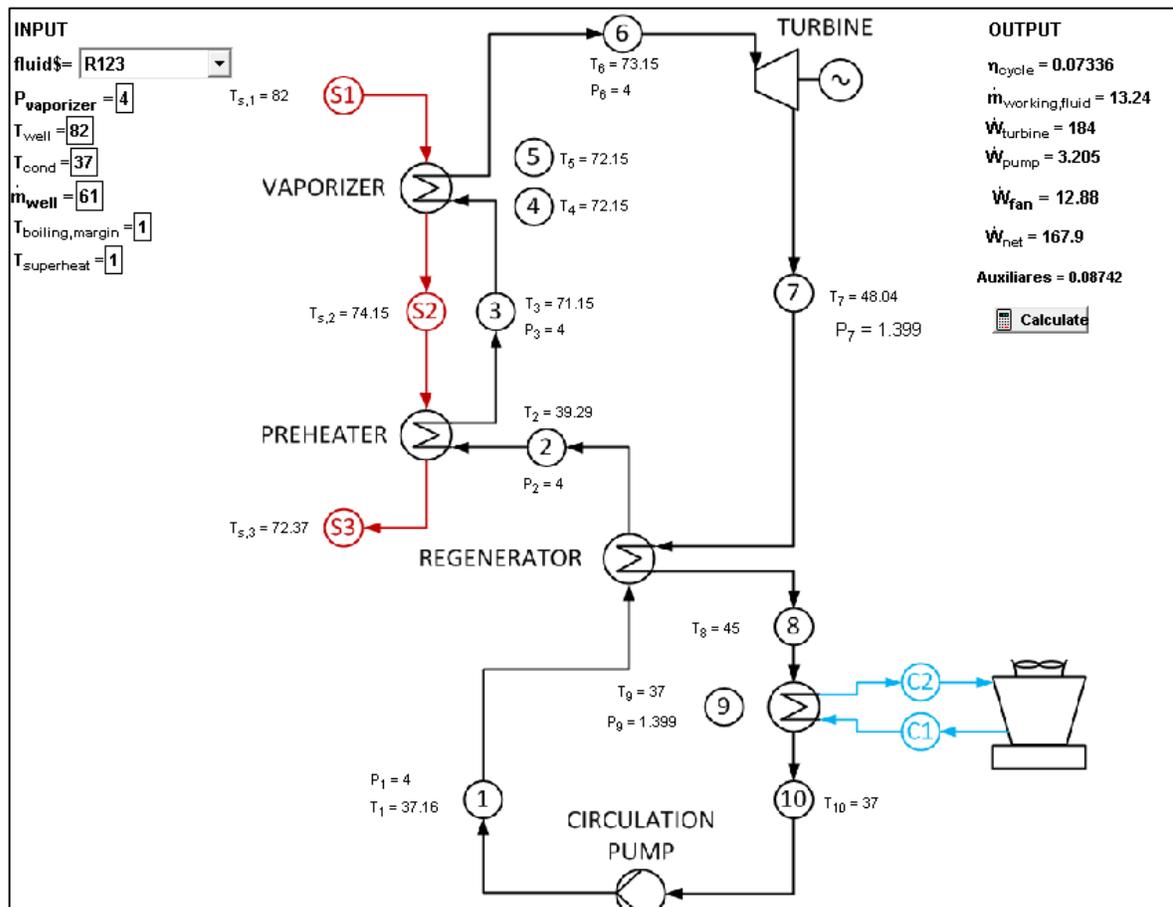


Figura 7. Modelo de la planta binaria con regeneración donde se realizarán las simulaciones

### 3.3 Simulación de planta binaria con datos de campos petroleros

La simulación consiste en tres fases principales. La primera fase corresponde a la determinación de la presión de vaporización para cada fluido de trabajo en función de la temperatura de salida del recurso geotérmico que corresponderá a 72 °C para la zona 1 y 78 °C para la zona 2. En la segunda fase se obtiene la potencia generada por la turbina para cada fluido de trabajo en función de la presión de vaporización obtenida anteriormente. Finalmente se calcula el flujo másico de cada fluido de trabajo en función de la temperatura de salida del agua geotérmica y que garantice la potencia de turbina calculada previamente.

#### 3.3.1 Zona 1

La Figura 8 permite obtener la presión de vaporización para cada fluido de trabajo en función de la temperatura de salida del agua geotérmica correspondiente a 72 °C. Es importante apreciar que para la temperatura requerida de salida de agua, la presión del fluido R134a deberá ser superior a los 22 bares. También se puede observar que los fluidos de Isopentano y R123 presentan un comportamiento similar con valores de presión de vaporización cercanos a los 4 bares.

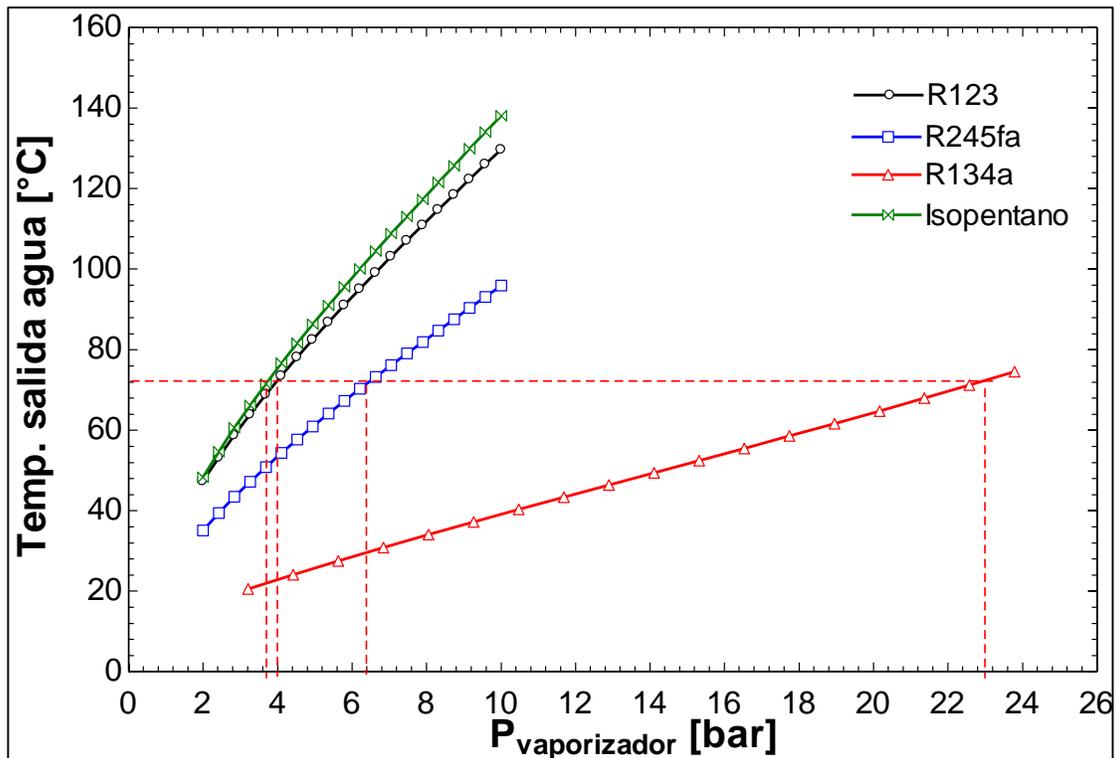


Figura 8. Presión de vaporización para diferentes fluidos de trabajo y temperatura de salida del agua de 72°C – Zona 1

Al observar la Figura 9, para los valores de presión de vaporización calculados anteriormente, se determinan valores de potencia de turbina entre los 177 y 200 kW aproximadamente. Las potencias obtenidas para el R123 e Isopentano son similares, al igual que para los fluidos de trabajo R245fa y R134a. Sin embargo, para el último caso los valores de presión de vaporización del R134a son muy superiores. Además la presión de vaporización para el R123, R245fa e Isopentano no supera los 7 bares.

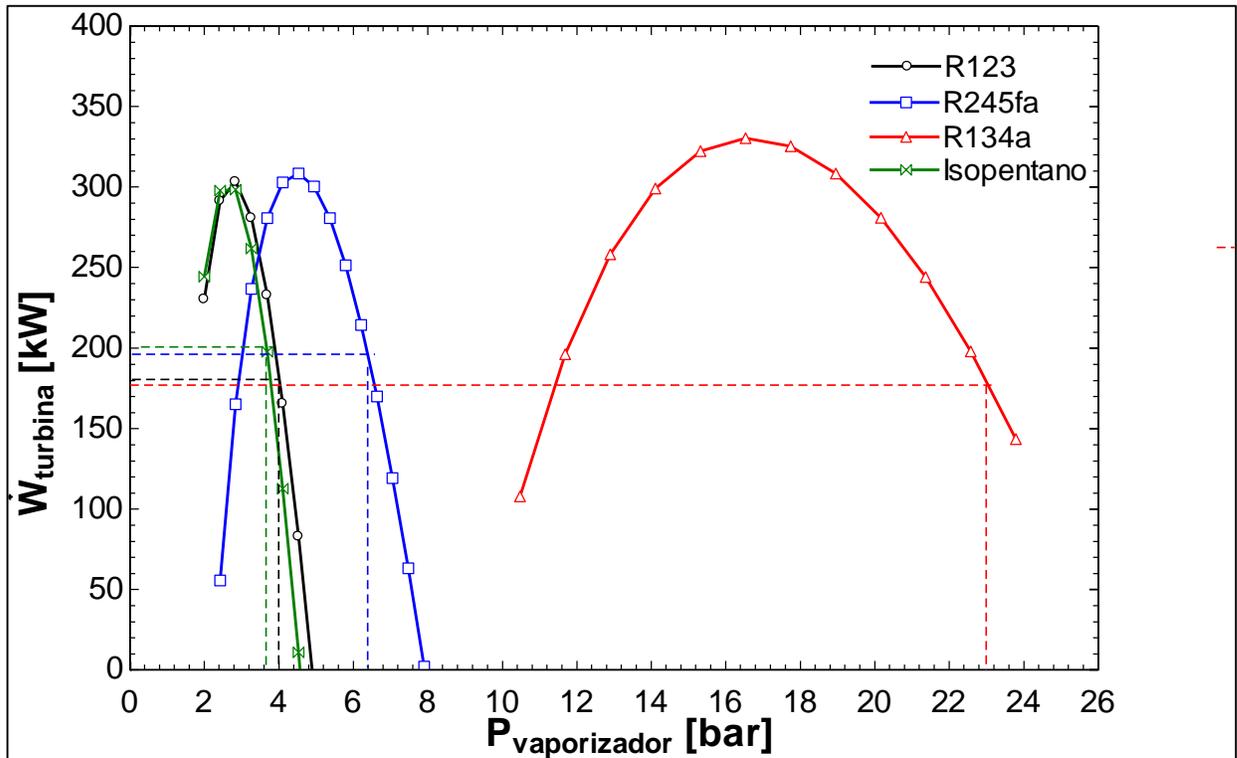


Figura 9. Potencia de la turbina en función de la presión de vaporización para diferentes fluidos de trabajo – Zona 1

En la Figura 10 se observa la estimación del flujo de fluido de trabajo en función de la temperatura de salida del agua. Es importante notar que los valores de los flujos máxicos de los fluidos R123 y R134a son muy similares, del orden de los 13.7 kg/s. Además el Isopentano emplea menor flujo de fluido de trabajo del orden de los 7 kg/s.

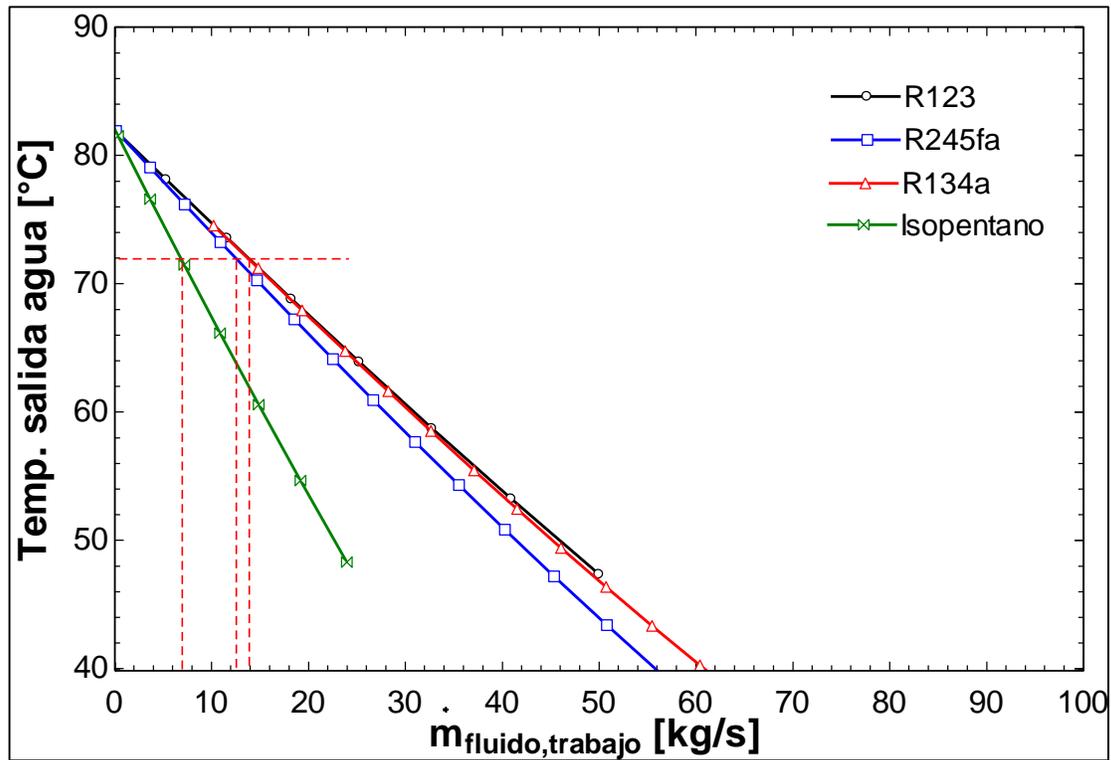


Figura 10. Flujo másico para cada fluido de trabajo en función de la temperatura de salida del agua geotérmica – Zona 1

### 3.3.2 Zona 2

La Figura 11 muestra la determinación de la presión de vaporización para cada fluido de trabajo de la zona 2 en función de la temperatura de salida del agua correspondiente a 78 °C. Para que el fluido R134a garantice la temperatura de salida del agua, la presión de vaporización sería del orden de los 26-27 bares. Nuevamente se observa que los fluidos R123 e Isopentano trabajan a presión de vaporización similar del orden de los 4-5 bares. La presión de vaporización máxima para los fluidos R123, R245fa e Isopentano no supera los 8 bares.

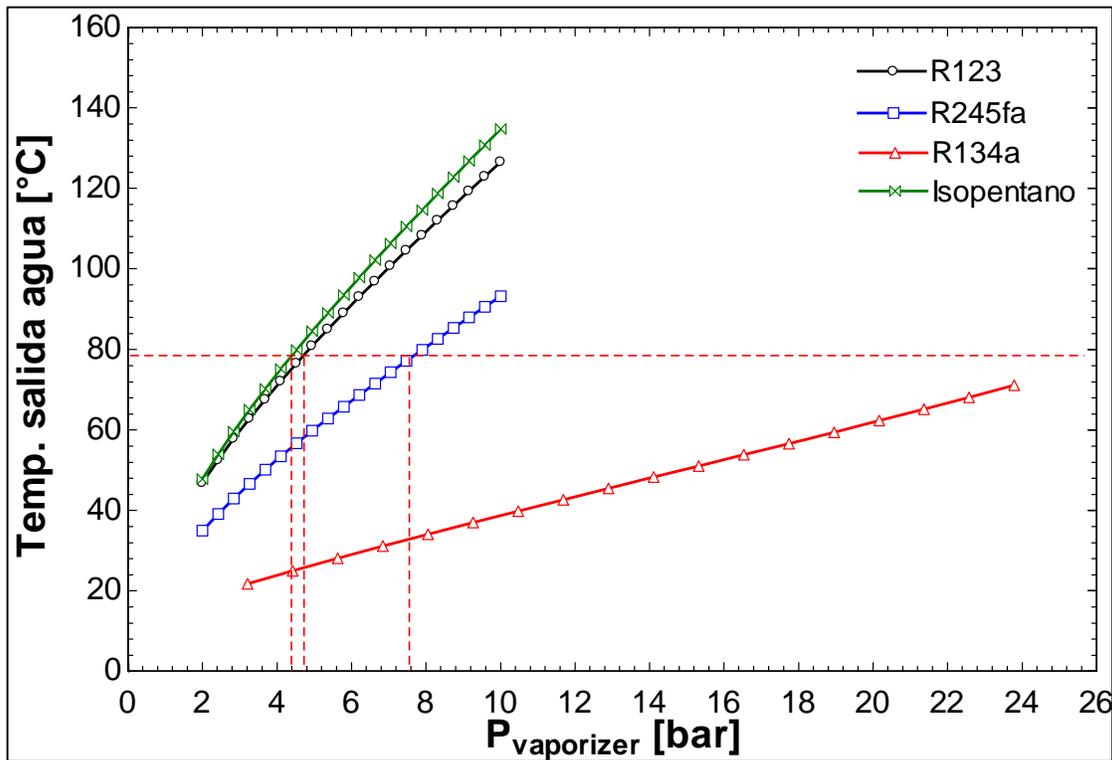


Figura 11. Presión de vaporización para diferentes fluidos de trabajo y temperatura de salida del agua de 72°C – Zona 2

En la Figura 12 se observan los valores de la potencia de turbina generada para cada fluido de trabajo en función de la presión de vaporización. Esta potencia oscila entre los 315 y 355 kW. Es importante mencionar nuevamente las altas presiones de vaporización del fluido R134a. Igualmente, se observan valores similares de potencia para los fluidos de trabajo R123 e Isopentano. En este caso, el fluido R245fa presenta la mayor potencia de turbina del orden de 355 kW. La potencia del fluido R134a no se estima, debido a los altos valores de presión de vaporización, sin embargo, la potencia estaría por los 300 kW aproximadamente.

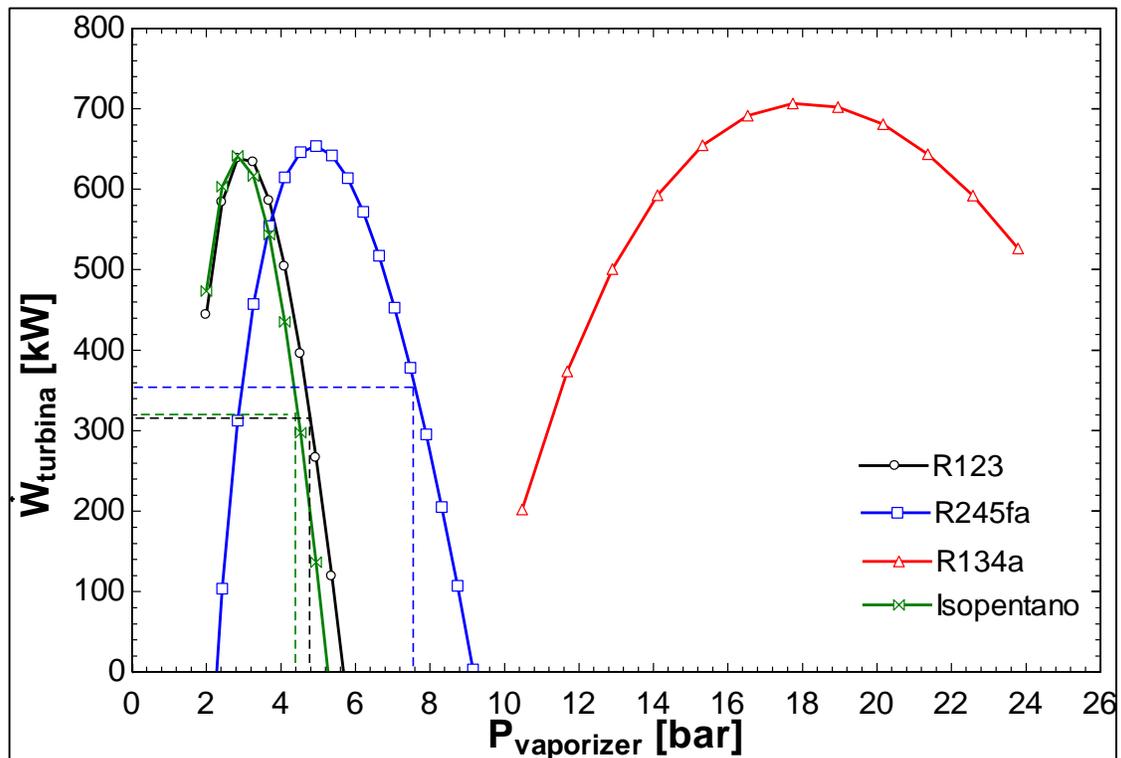


Figura 12. Potencia de la turbina en función de la presión de vaporización para diferentes fluidos de trabajo – Zona 2

La Figura 13 muestra el cálculo del flujo másico para cada fluido de trabajo en función de la temperatura de salida del agua correspondiente a 78 °C. Los fluidos R123 y R134a presentan comportamientos similares con un valor de 22.1 kg/s. Los fluidos R245fa e Isopentano presentan valores de flujo másico de 20 y 10.9 kg/s respectivamente.

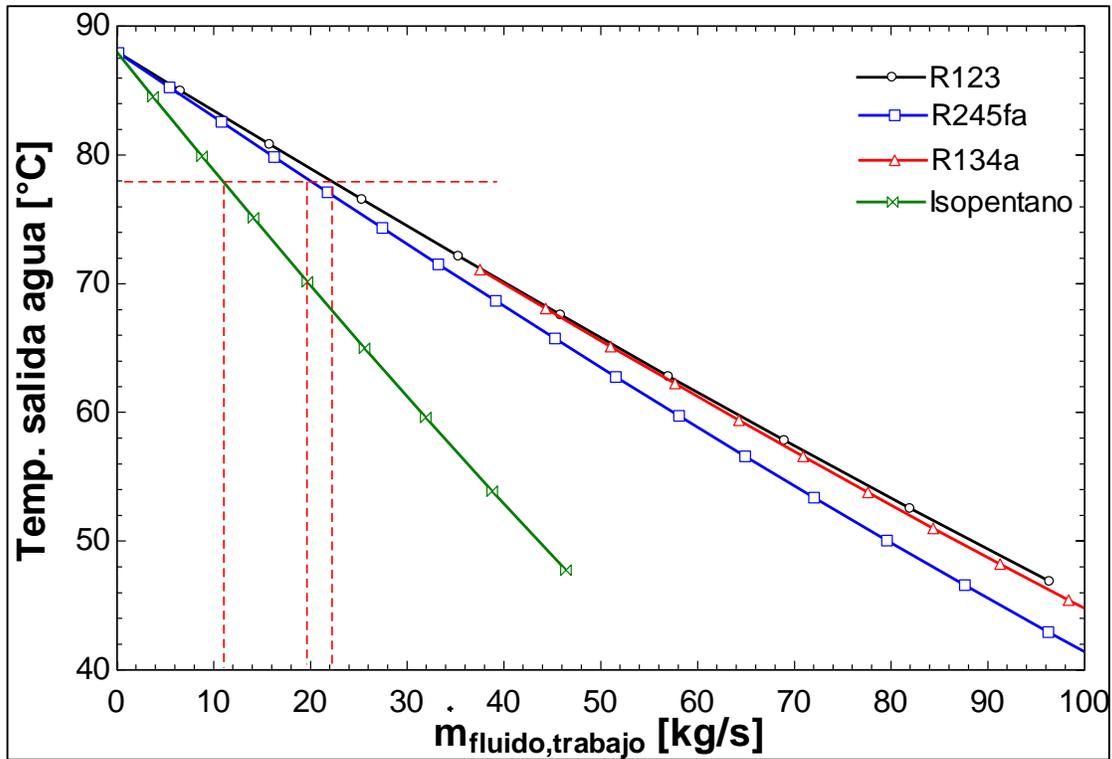


Figura 13. Flujo másico para cada fluido de trabajo en función de la temperatura de salida del agua geotérmica – Zona 2

### 3.3.3 Resultados para las zonas 1 y 2

Los resultados obtenidos para las zonas 1 y 2 se observan en la Tabla 8.

Tabla 8. Datos obtenidos a partir del modelamiento de datos de las zonas 1 y 2

Fluido de Trabajo	Zona 1*			Zona 2**		
	Pvaporizador [bar]	Wturbina [kW]	$\dot{m}$ fluido trabajo [kg/s]	Pvaporizador [bar]	Wturbina [kW]	$\dot{m}$ fluido trabajo [kg/s]
R123	4	180	13.8	4.8	315	22.1
R245fa	6.4	195	12.4	7.6	355	20
R134a	23	177	13.7	26-27	-	-
Isopentano	3.7	200	6.8	4.4	320	10.9

\*Zona 1:  $\dot{m}$ :61 kg/s; Temperatura salida del agua: 72°C

\*\*Zona 2:  $\dot{m}$ :99 kg/s; Temperatura salida del agua: 78°C

#### 4. Parámetros económicos de plantas binarias en coproducción de energía

Los parámetros mostrados en la Tabla 9 corresponden a dos análisis económicos de dos plantas binarias localizadas en campos petroleros de USA y Colombia. Es importante observar que los costos finales de electricidad oscilan entre los 8 y 10 centavos de dólar por cada kWh producido.

*Tabla 9. Parámetros económicos para dos plantas binarias con aplicación en campos petroleros*

Parámetro	(Bennett, Li, & Horne, 2012)	(Cuadrado, Colorado, Cobos, & Vásquez, 2015)
Precio de electricidad [\$/kWh]	0.08	0.102
Costo de capital inicial [\$/kW]	1900	2857
Operación y mantenimiento [\$/kWh]	0.014	-
Power Plant CF	0.85	-
Tasa de descuento	5%	10.2%
Tasa Interna de retorno (TIR)	-	9.2%
Periodo de repago	-	8
Localización	Cuenca Los Angeles, CA-USA	Factibilidad - Colombia

El análisis económico de la Tabla 10, se basó en costos y eficiencias de la compañía fabricante Calnetix (Gosnold, Abudureyimu, Tsiryapkina, Wang, & Ballesteros, 2019), de donde se obtiene que el Retorno simple de Capex es de 3.4 años.

*Tabla 10. Análisis económico para diferentes campos en función de equipos fabricados por Calnetix.*

Campo	Prof. [m]	Temp. [°C]	Flujo [l/s]	Eficie. [%]	Mwe	Ingresos [anual]	No XLTs [125 kW]	Capex [@\$2600/kW]
Banks Bakken	3395	144	168	14.2	5.4	\$ 4 151 015.00	44	\$ 14 040 000.00
Siverston Bakken	3375	141	151	13.9	4.6	\$ 3 536 050.00	38	\$ 11 960 000.00
Sanish Bakken	3220	114	145	11	2	\$ 1 537 413.00	17	\$ 5 200 000.00
Elm Tree Bakken	3250	136	75	13.4	1.8	\$ 1 383 672.00	15	\$ 4 680 000.00
Heart Butte Bakken	3215	112	81	10.8	1.1	\$ 845 577.00	10	\$ 2 860 000.00
Parshall Bakken	2930	100	135	9.4	1.1	\$ 845 577.00	10	\$ 2 860 000.00
Baker Bakken	3280	126	17	12.4	0.4	\$ 307 483.00	4	\$ 1 040 000.00
Clear Creek Bakken	3245	143	12	14.1	0.3	\$ 230 612.00	3	\$ 780 000.00

Para el análisis anterior se asumen las siguientes consideraciones:

- Factor de capacidad del 100%
- Ingresos por 1 año de producción
- Precio de electricidad: US\$0.0878 /kW
- Costos Capex asumidos: US\$2600 /kW (Calnetix)
- Sin Opex u otros costos

## 5. Discusión

A partir de la información obtenida y analizada es posible identificar aspectos técnicos que evidencian la viabilidad de emplear la tecnología de plantas binarias de media a baja temperatura para la generación de energía eléctrica a partir del aprovechamiento del recurso geotérmico disponible en campos de petróleo.

Dentro de los aspectos técnicos se observó un avance en la tecnología de las plantas binarias al mejorar su eficiencia del 6-7% al 14%, como se evidencia en la Tabla 5.

Para el análisis del mejor fluido de trabajo se coincide en cuanto a los fluidos utilizados por empresas fabricantes como Ormat Technologies Inc. (Isopentano), Calnetix (R245fa) y Jiujiang Power (R123), debido a que los resultados obtenidos presentan bajos valores de presión de vaporización y mayor potencia en turbina, lo anterior aplica para las dos zonas de estudio. Adicionalmente, para las dos zonas de estudio se seleccionaría el Isopentano debido a que presenta el valor más bajo de presión de vaporización (lo que implica una bomba de menor tamaño y menor potencia que impulse el fluido a los intercambiadores de calor), el menor flujo másico de fluido de trabajo correspondiente a aproximadamente la mitad comparado con los fluidos R245fa y R123 (implicando menor cantidad de fluido de trabajo, equipos menos robustos, menor consumo de energía por parte de bombas y costos de operación menores).

En cuanto al fluido de trabajo R134a, se observó que no es un fluido viable debido a las altas presiones de vaporización que debe alcanzar para mantener temperaturas aceptables del agua a la salida y mantener potencias de turbina similares a los demás fluidos analizados. En cuanto a los fabricantes de plantas, se coincide en que este fluido no es tenido en cuenta para sus diseños.

Los modelamientos realizados para las zonas 1 y 2, validaron la aplicabilidad de plantas binarias en el aprovechamiento de agua caliente de hasta 82 °C y mostraron que es posible obtener potencias del orden de 180-200 kW para la zona 1 y 315-355 kW para la zona 2.

## 6. Conclusiones y recomendaciones

- Es posible encontrar en el mercado fabricantes de plantas binarias modulares entre los 125 y 400 kW que puedan generar energía eléctrica a partir del aprovechamiento del agua caliente producida en los campos de petróleo con temperaturas de hasta 77 °C.
- El corte de agua en pozos petroleros maduros podría llegar hasta el 98%, lo que convierte estos pozos en campos potenciales de generación de energía eléctrica.
- Se encontró que los fluidos de trabajo como el Isopentano, R123 y R245fa, son los fluidos utilizados por fabricantes de plantas binarias para generación de energía eléctrica en campos petroleros.
- En los modelamientos se observó que los fluidos de trabajo de Isopentano y R123 presentan condiciones de presión de vaporización y potencia similares, sin embargo, el flujo másico del fluido de trabajo R123 duplica al Isopentano.
- Para la zona 1, los valores de presión de vaporización, potencia de turbina y flujo másico de los fluidos de trabajo oscilan entre los 3.7-23 bares, 177-200 kW y 6.8-13.8 kg/s, respectivamente. Sin embargo, el fluido de trabajo R134a se descarta debido a que su presión de vaporización es de 23 bares. El fluido de trabajo que mejores características presenta es el Isopentano, con valores presión de vaporización de 3.7 bares, potencia de turbina de 200 kW y flujo másico de Isopentano de 6.8 kg/s.
- Para la zona 2, los valores de presión de vaporización, potencia de turbina y flujo másico de los fluidos de trabajo oscilan entre los 4.4-27 bares, 315-355 kW y 10.9-22.1 kg/s, respectivamente. Para este caso, el fluido de trabajo R134a también es descartado debido a que su presión de vaporización es de 27 bares aproximadamente. Nuevamente, el fluido de trabajo que mejores características presenta es el Isopentano, con valores presión de vaporización de 4.4 bares, potencia de turbina de 320 kW y flujo másico de Isopentano de 10.9 kg/s.
- La implementación de plantas binarias en campos petroleros permite obtener costos finales de electricidad entre los 8 y 10 centavos de dólar por cada kWh.
- El costo de capital para la puesta en marcha de una planta binaria en campos petroleros podría oscilar entre 2000-2600 USD/kW.
- Se recomienda el fluido de trabajo Isopentano como una opción válida para usar en plantas térmicas binarias. Además, por ser un hidrocarburo podría estar fácilmente disponible en los campos petroleros.
- Se recomienda utilizar plantas binarias con Isopentano como fluido trabajo para generar electricidad en aguas calientes de hasta 82 °C.

## 7. Referencias bibliográficas

- Augustine, C., & Falkenstern, D. (2012). An Estimate of the Near-Term Electricity Generation Potential of Co-Produced Water From Active Oil and Gas Wells. *GRC Transactions, Vol. 36*, 187-200.
- Bennett, K. P., Li, K., & Horne, R. N. (2012). Power Generation Potential from Coproduced Fluids in the Los Angeles Basin. *Proceedings, Thirty-Seventh Workshop on Geothermal Reservoir Engineering*, SGP-TR-194.
- Cuadrado, I., Colorado, A., Cobos, J., & Vásquez, J. (2015). Estudio de Factibilidad para la Implementación de un Ciclo Orgánico de Rankine en Pozos de Extracción de Petróleo. *EIA, ISSN 1794-1237, Volumen 12, Edición N.23*, 137-148.
- Davis, A. P., & Michaelides, E. E. (2009). Geothermal Power Production from Abandoned Oil Wells. *Elsevier, Energy 34*, 866–872.
- Gosnold, W., Abudureyimu, S., Tsiryapkina, I., Wang, D., & Ballesteros, M. (2019). Geothermal and Electric Power Analysis of Horizontal Oil Well Fields Williston Basin, North Dakota, USA. *AAPG European Region, 3rd Hydrocarbon Geothermal Cross Over Technology Workshop*.
- Gosnold, W., LeFever, R., Klenner, R., Mann, M., Salehfar, H., & Johnson, J. (2010). Geothermal Power from Coproduced Fluids in the Williston Basin. *GRC Transactions, Vol. 34*, 557-560.
- Mwagomba, T. (2013). Comparative Analysis of Geothermal Power Plant Designs Suitable for Malawi's Chiweta Geothermal Field. *UNU-GTP, Number 22*, 501-530.
- Mwagomba, T. (2016). Preliminary Technical and Economic Feasibility Study of Binary Power Plant for Chiweta Geothermal Fields, Malawi. *M.Sc. thesis, UNU-GTP, Reykjavik University*, 1-70.
- Nordquist, J., & Johnson, L. (2012). Production of Power From the Co-Produced Water of Oil Wells, 3.5 Years of Operation. *GRC Transactions, Vol. 36*, 207-210.
- Reinhardt, T., Johnson, L. A., & Popovich, N. (2011). Systems for Electrical Power from Coproduced and Low Temperature Geothermal Resources. *Proceedings, Thirty-Sixth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering*, SGP-TR-191.
- Sanyal, S. K., & Butler, S. J. (2010). Geothermal Power Capacity from Petroleum Wells – Some Case Histories of Assessment. *Proceedings World Geothermal Congress*.
- Xin, S., Liang, H., Hu, B., & Li, K. (2012). A 400 kW Geothermal Power Generator Using Co-Produced Fluids From Huabei Oilfield. *GRC Transactions, Vol. 36*, 219-224.

## **Agradecimientos**

Al Diplomado en Geotermia para América Latina, Edición 2019; por permitirme ser parte de sus becarios y patrocinar mi excelente formación en Geotermia.

A LaGeo, empresa geotérmica Salvadoreña miembro del grupo CEL, el United Nations University Geothermal Training Programme, de Islandia (UNU-GTP), la Universidad de El Salvador (UES) y el Ministerio de Asuntos Exteriores de Islandia (MFA-ICEIDA), por la valiosa cooperación para llevar a cabo y ejecutar el diplomado.

A los ingenieros de LaGeo Oscar Cideos y Jose Luis Henríquez, por asesorar, aconsejar y guiar mi trabajo final de tesis.

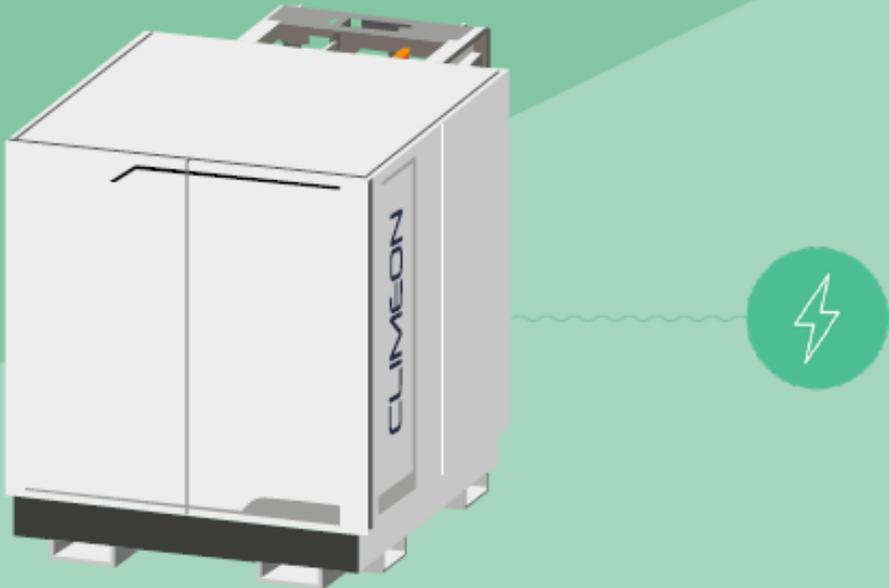
A todos los profesores que dictaron los diferentes módulos del diplomado.

A todas las personas vinculadas en la logística del diplomado.

A El Salvador y su gente por su gran hospitalidad.

## **8. Anexos**

### **Anexo 1. Ficha técnica del equipo CLIMEON HP 150**



# CLIMEON HP 150

## PRODUCT SHEET

**THE HP 150 MAKES** it possible to create up to 150 kilowatts of clean electricity from low-temperature heat. Around the clock. Anywhere on the planet.

**HERE'S HOW IT WORKS.** 

# 150 KILOWATTS OF HEAT POWER



**THE HP 150 MODULE** is the building block of the Climeon Heat Power System, which converts low-temperature heat into clean electricity. Using the principles of the Organic Rankine Cycle, but at much lower pressure levels, the system is designed for unmatched efficiency within the operating temperatures.

Through Climeon Live, the system is remotely automatized and monitored, ensuring stable and reliable production.

## HOW IT WORKS

The Climeon module is based on the ORC technology, which, in short, means using a heat source (high pressure) and a cold source (low pressure) to drive a flow that generates electricity. Each module consists of an evaporator that transfers heat to the internal working fluid, a turbine-generator package for conversion of thermal energy to electricity, and a cooling system that transfers heat out of the module to the cooling water circuit.

The heat from the heat source boils the internal working fluid in the hot heat exchanger. The vaporized working fluid flows through the turbine, driving the generator to produce electricity. The fluid then enters the condenser tank where the gas is brought into direct contact with the cooled working fluid. The liquid working fluid is then distributed via pumps to the cold heat exchanger and hot heat exchanger, closing the loop.

## FEATURES

### CLEAN AND RELIABLE POWER SUPPLY

Unaffected by weather conditions, the Climeon Heat Power system can produce baseload energy 24/7 year round. The heat can come from geothermal sources, industrial waste heat such as manufacturing plants, or gensets on land and at sea.

### SIMPLE AND SCALABLE DESIGN

The compact and modular design consists of only three moving parts per module: a turbine and two pumps, allowing reduced installations and low maintenance costs. Installed capacity is easily scalable from 150 kW onwards. The modules can be configured either serially or parallelly to make optimal use of the heat source.

### OPTIMIZED PERFORMANCE

Because of the modular design, individual units can be taken offline for service without having to shut down the entire site, maximizing site availability. Climeon's control and cloud service, Climeon Live, ensures that every running hour is as profitable as possible. By monitoring production and then analyzing it in the cloud, Climeon Live can fine-tune the running parameters and even provide preemptive maintenance.

### FLEXIBLE AND MODULAR DEPLOYMENT

Using Climeon's standardized solution ensures reliability, cost competitiveness and quick deployment. The modules can be delivered as and where they are needed, moved for use at another site, or even resold.

## TECHNICAL SPECIFICATIONS

### INTERFACES

#### HOT WATER

Temperature	Min	°C	70
	Max	°C	120
Flow rate	Min	l/s	10
	Max	l/s	35

#### COOLING WATER

Temperature*	Min	°C	0
	Max	°C	35
Flow rate	Min	l/s	10
	Max	l/s	35

\*Temp limits vary depending on installation, contact Climeon for more site specific information.

#### ELECTRONICS COOLING WATER

Temperature	Min	°C	0
	Max	°C	20
Flow rate		l/min	30

#### VENTILATION

Flow rate		l/s	60
Pressure	loss	Pa	70



Please note: Space of 150mm in front, 50mm above, and 60mm behind is needed around the module. 50mm is recommended between modules, when more than one module is present.

#### INSTRUMENT AIR

Pressure	Min	bar(g)	7
	Max	bar(g)	9
Flow rate		Nm <sup>3</sup> /h	1.0

#### GRID CONNECTION

Voltage**	Nom	V	400, 440
		Hz	50, 60

\*\*For deviations from nominal voltage, contact Climeon for more information.

### DIMENSIONS

	Unit	MODULE		ELECTRICAL CABINETS	
		Control	Power	Control	Power
Depth	mm	3009	600	600	600
Width	mm	2085	600	1600	1600
Height	mm	2271	2100	2100	2100
Weight (filled)	kg	9000( 10200)	400	1000	1000

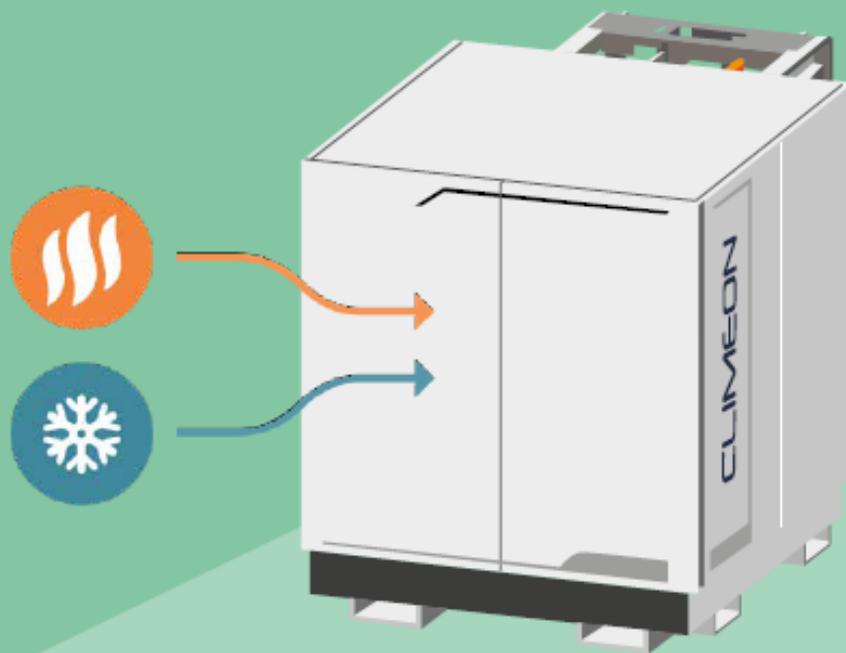
### AMBIENT REQUIREMENTS

Temperature	Min	°C	5
	Max	°C	45
Humidity	Min	% RH	20
	Max	% RH	85

Please note: Ambient requirements valid under operation at sea level.

*"IT HAS OUTPERFORMED  
OUR EXPECTATIONS."*

-Ingvar Garðarsson, Chairman of the Board of Varmvorka in Iceland, where  
the first geothermal power plant with Climeon heat power units was installed  
in 2018.



**ADDRESS**

Climeon AB  
Torshamnsgatan 44,  
164 40 Kista

**TELEPHONE**

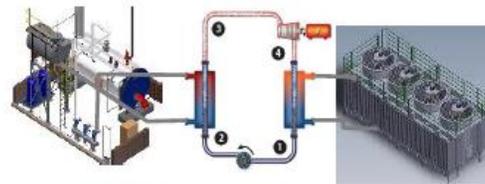
+46 10-160 44 33  
Global Customer Support  
+46 10-160 44 38

**WEB**

[www.climeon.com](http://www.climeon.com)  
General info  
[info@climeon.com](mailto:info@climeon.com)

**CLIMEON**

**Anexo 2. Brochure del fabricante “Green Thermal Energy Technologies”**



**What is ORC?**

Organic Rankine Cycle uses an organic fluid heated in an evaporator (2-3), expanded through a turbine (3-4), condensed through a condenser (4-1) and pumped and pressurised back to the evaporator (1-2) in a closed loop system. The semi-hermetically sealed turbo-alternator generates high frequency AC power electronically converted to grid compatible supply.

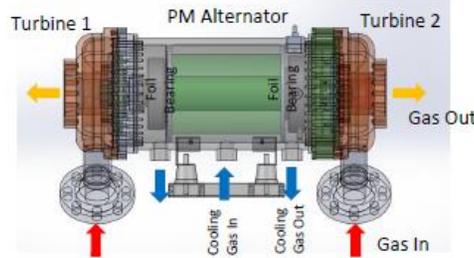
**ORC is ideal for thermal waste recovery from as low as 60°C above the condensing temperature**

- Highly tolerant to fluctuating source temperatures and flow
- Highly tolerant to source fluid composition and impurities ( energy transfer by heat exchange)
- Electronic transfer from HFAC alternator to 50/60Hz AC supply assures efficient power conversion, turbine protection, IEEE1547 /AS4777 compliance and improves site PF balancing.
- Suitable for cogeneration applications providing hot water from the condenser or using air condensing where water is unavailable

**Thermal Energy**  
converted to  
**green Power**



green Thermal Energy Technologies  
www.g-tet.com  
Ph: +61 413 884 231



**gTET's World Leading Turbo-Alternator**

- Semi-hermetically sealed axial turbine reduces leaks
- PM rotor on a common shaft with the turbine rotor reduces coupling losses
- Internally gas cooled reduces complexity & maintenance
- Patented non-contact gas bearings for maximum life
- Large operating temperature range for wide applications
- No bearing lubrication or mag bearing circuitry required reducing complexity & maintenance



**Wide Application Range**

- Steam source: incl gas boilers, biomass boilers,
- Thermal oil sources: incl solar thermal, biomass oil heaters, steel/aluminium furnaces
- Hot water sources: incl geothermal, vats
- Exhaust gas: incl diesel genset, gas genset, furnaces, gas turbine exhaust, ship engines



**gTET's State of the Art Power Management System**

- Inverts varying AC output from PM alternator (max 600Hz) to DC using 6KHz digital sampling.
- Controls the PM alternator load transfer to assure set point RPM is maintained
- Full protection of alternator against over speed, current faults, phase faults, torque etc
- ORC auxiliary loads (working fluid pump, cooling tower etc) powered from inverters on DC bus.
- Grid connection from inverter on DC bus IEEE1547/ AS4777 compliant
- All drives on Profibus controlled by ORC controller



**gTET's Heat Exchanger Portfolio for all applications**

- A range of heat exchangers (HEX) are available to suit the specific ORC application with consideration of source temperature, source pressure and source fluid that meets reliability and economic targets.
- Copper Brazed Plate is the most common HEX applied suitable for thermal oil, steam or water up to 180°C, 800kPa.
- Stainless Steel plate and shell heat exchangers are generally applied with sources above 800kPa.
- Stainless steel tube and fin exhaust gas heat exchangers suitable for highly corrosive environments
- Air cooled condensers for applications without a cooling tower.



**gTET's Working Fluid Pump Portfolio**

- The working fluid pump has a unique requirement for very high head pressures, high temperature and very low leak rates
- Multi stage Can pump is pump applied for most applications
- The pumps have cast iron body and stainless steel shafts with mechanical Atlas twin seals compatible with hydrocarbon fluids
- Pumps can be vertical or horizontal shaft depending on capacity.

green Thermal Energy Technologies  
 www.g-tet.com  
 Ph: +61 413 884 231



### Anexo 3. Ficha técnica del equipo THERMAPOWER (ORC)



## Access Energy®Thermapower® Organic Rankine Cycle (ORC) Systems

The Preferred Heat-to-Power Solution for All Land-based Applications

Capture. Convert. Consume.™



### Compact, Efficient and Reliable Heat Recovery

With the largest install base of low temperature ORCs operating around the world, Access Energy has the technology, knowledge and experience to make your heat recovery project a success.

#### Engineered for Dependability

The Thermapower ORC uses cutting edge technology to produce reliable, clean electricity. Our patented Carefree® Integrated Power Module (IPM) operates on magnetic bearings and removes the hassle of maintenance with its innovative fully encapsulated design. With its advanced Vericycle™ power electronics and state-of-the-art computer control system, Thermapower is the premier ORC system in the world, offering numerous benefits over competitive technologies, including:

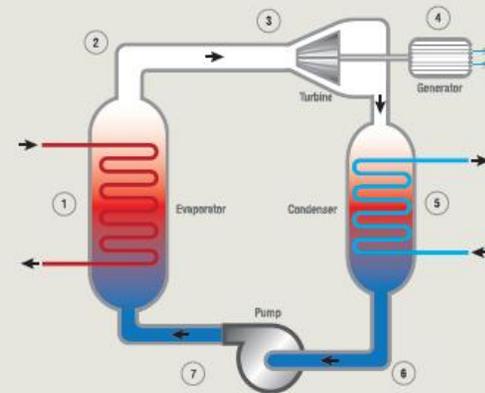
- High availability and reliability
  - » Consistent and stable operation with a wide variety of source heat types and conditions
  - » Very low maintenance and operating costs
- High efficiency
  - » Variable speed generator allows for optimal speed operation
  - » Self-centering magnetic bearings eliminate friction between rotating parts and reduce product wear
- Zero emissions or risk of contamination
  - » No fuel or oil lubrication required
  - » Environmentally friendly, non-combustible and non-flammable working fluid
  - » Modular configuration
  - » Scalable to site (install 1 or 10 units)
  - » Offers opportunity for N+1 redundancy for critical applications
  - » Easy to relocate if required
- Ease of transport and installation
  - » Optional 20 ft. container
  - » Only three field connections for immediate use:
    - Connect heat source (hot water or steam)
    - Connect cooling water (from cooling tower or other supply)
    - Connect utility grid
  - » Simple setup and commissioning
- Fully automated
  - » Auto start/stop
  - » Load control
  - » Advanced power electronics automatically match grid voltage and frequency
- Options support
  - » High pressure hot water (HPHW) controls
  - » Steam valve control
- Other process controls by specific application engineering

### Organic Rankine Cycle Process

#### How Thermapower® Products Work

The Organic Rankine Cycle (ORC) converts thermal energy into electricity. It does this using a process similar to a steam turbine, but it uses refrigerant instead of water. This allows the ORC to extract energy from low temperature sources.

- ① The heat source transfers thermal energy into the refrigerant causing it to vaporize.
- ② High pressure refrigerant vapor flows into the turbine.
- ③ The refrigerant vapor pushes against the turbine and causes it to spin.
- ④ The turbine turns the generator producing electrical power.
- ⑤ Cooling water extracts thermal energy from the low pressure refrigerant vapor.
- ⑥ The refrigerant is condensed back into liquid.
- ⑦ Liquid refrigerant is pumped into the evaporator.



### Applications



## Thermapower® ORC Technology

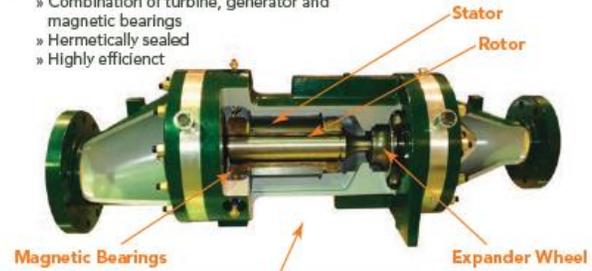
Access Energy's ORC products are the most compact, cost effective, reliable and efficient heat recovery systems available today. A number of competitive advantages are provided by the proprietary components of the Thermapower systems shown below.

- **Receiver Tank**
  - » Ensures liquid is present at pump inlet
- **Programmable Logic Controller (PLC)**
  - » Controls operation of ORC components
  - » Remote operation with Modbus TCP/IP or Web interface
- **Insight™ Magnetic Bearing Controller (MBC)**
  - » Non-contact, no lubrication and low maintenance
  - » Controls magnetic bearings, which levitate the turbine wheel/rotor assembly
- **Power Delivery Unit (PDU)**
  - » Single point connection to the grid
  - » Distributes power to ORC and other ancillary equipment (i.e. PE cooler, space heater, ORC pump, etc.)
- **Vericycle™ Bi-Directional Power Electronics**
  - » Controls the speed and power of the turbine/rotor assembly
  - » Automatically synchronizes turbine output with grid voltage and frequency



## Carefree® Integrated Power Module (IPM)

- » Combination of turbine, generator and magnetic bearings
- » Hermetically sealed
- » Highly efficient



- **Slam Valves**
  - » Automatically re-direct refrigerant flow around IPM during a power outage or shutdown.
- **Refrigerant Pump**
  - » Industrial grade, high-head pump
  - » Variable speed motor adjusts refrigerant flow and pressure to match the heat source conditions



## Thermapower® ORC Products

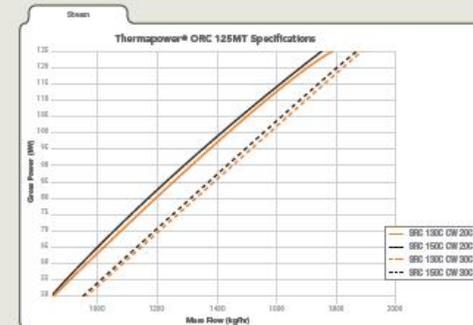
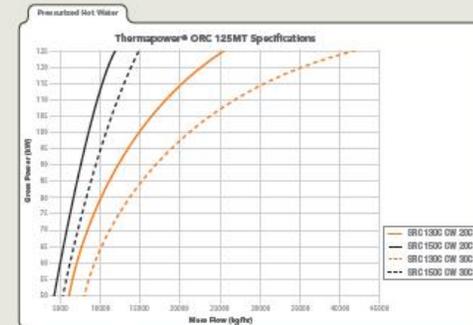
### Thermapower ORC Modules

The Thermapower ORC 125XLT module generates 125kW of clean, utility grade power using recovered extra low temperature heat, and the Thermapower ORC 125MT module generates up to 125kW of clean, utility grade power using recovered medium temperature heat. Both modules are designed for integration with application specific condensers and evaporators. Authorized distributors can assist with optimizing the right module for your land-based application.



### Thermapower ORC Systems

Access Energy's Thermapower Systems include one of the Thermapower modules and are configured and optimized for specific applications. The systems are smaller and lighter than conventional heat recovery systems and require no custom engineering. The module configuration allows them to be dropped into place and hooked up to three field connections for low-cost, rapid deployment. Service for the systems can be aligned with other site equipment, so there is never any disruption to the operation of the plant by the ORC system.



#### Typical Customer Interfaces

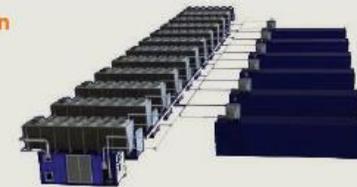
Connection	Description
Evaporator Inlet/Outlet	4" CL300 RF ASME B16.5 Flange
Condenser Inlet/Outlet	4" CL300 RF ASME B16.5 Flange
Grid Connection	3-Phase 3-Wire w/ly Ground
Internet Connection	Ethernet CAT-5 Cable from Customer Internet

NOTES: SRC is Source Heat Temperature, CW is Cooling Water Temperature.

Parameter	Value
Power	125 kW Gross
Voltage/Frequency	380-480 VAC; 50/60 Hz
Inlet Temperature	130°C (266°F)
Pressure	1.5 barg
Working Medium	R245fa
System Weight	7,800 kg (17,200 lb)
System Size	20 ft ISO Container
Module Weight	4,500 lb (2,040 kg)
Module Size	115 in (2927 mm) x 50 in (1270 mm) x 80 in (2032 mm)

### Modular Configuration

The systems can be installed in modular configurations with multiple units.



### Proven Project Implementation Expertise



### Small-Scale Commercial and Industrial Applications

- Incineration - Marine - Geothermal - Solar Thermal - Coproduction - Air & Hydrocarbon Processing
- Compression - Gas Flaring - Boilers - Regenerative Thermal Oxidizers - Amine Treatment
- Turbo Compounding - Glass Production - Iron & Steel Production - Water Treatment - Food Processing
- Cement Manufacturing - Pulp & Paper Manufacturing - Biomass Processing - Aluminum Manufacturing
- Fuel Cells - Petroleum Refining - Natural Gas Distribution - Desalination - Structural Clay Production



Access Energy  
16323 Shoemaker Avenue  
Cerritos, CA 90703  
+1 562.293.1660  
[info@access-energy.com](mailto:info@access-energy.com)  
[www.calnetix.com](http://www.calnetix.com)

© April 2018

Capture. Convert. Consume.™