



| | | |
|---|--|-------------------|
|  | UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA ESCUELA DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA UNIDAD VALLE DE LAS PALMAS | CÓDIGO: SG-PE-IER |
| | PROGRAMA EDUCATIVO DE INGENIERÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES | REVISIÓN No. 2 |
| | MANUAL DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO/TALLER | PAGINA 1 / 19 |

ÍNDICE

| Número | Práctica | Página |
|--------|--|--------|
| 1 | Modelo USGS (Heat in Place) | 2 |
| 2 | Análisis termodinámico de una central térmica híbrida. | 5 |
| 3 | Análisis de un ciclo binario | 7 |
| 4 | Sistema híbrido flash-binario | 9 |
| 5 | Análisis termodinámico de una bomba de calor geotérmica (caso 1) | 12 |
| 6 | Análisis termodinámico de una bomba de calor geotérmica (caso 2) | 15 |
| 7 | Análisis termodinámico de una bomba de calor geotérmica (caso 3) | 17 |

| | | |
|---|--|---|
| Realizado por Dr. Luis Enrique Gómez Pineda Julia Michelle Rodríguez Delgado | Coordinado por M.I. Eric Efrén Villanueva Vega | Aprobado por M.I. Antonio Gómez Roa |
| Función Profesor de Tiempo Completo Alumna | Función Profesor de Tiempo Completo | Función Director |

| | | |
|---|--|-------------------|
|  | UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA ESCUELA DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA UNIDAD VALLE DE LAS PALMAS | CÓDIGO: SG-PE-IER |
| | PROGRAMA EDUCATIVO DE INGENIERÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES | REVISIÓN No. 2 |
| | MANUAL DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO/TALLER | PAGINA 2 / 19 |

PRÁCTICA 1. MODELO USGS (Heat in Place)

1. Objetivo

Realizar un análisis de sensibilidad del modelo USGS (Heat in Place) a partir de un escenario base variando los siguientes parámetros del reservorio: temperatura, área, espesor y porosidad.

2. Alcance

Elabora una hoja de cálculo para estimar el escenario optimista y pesimista de un reservorio geotérmico con el modelo USGS.

3. Documentación de referencia

Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería. Tesis Modelado inicial para yacimientos geotérmicos durante la etapa de exploración: 2012.

4. Definiciones

Primero, se determina el calor disponible en el sitio, posteriormente se evalúa la cantidad de calor recuperable, una vez determinado el calor disponible en el yacimiento y suponiendo que el recurso geotérmico (totalmente en fase líquida) se lleva hasta la superficie con una efectividad de recuperación R_g y luego es enfriado hasta temperatura ambiente (recuperación ideal).


$$q_{recuperable} = R_g V \cdot [\phi \rho_{agua} C_{\rho_{agua}} + (1 - \phi) \rho_{roca} C_{\rho_{roca}}] \cdot (T_{yacimiento} - T_{ambiente})$$

Donde q es el calor disponible, V el volumen total del yacimiento, ϕ la porosidad, ρ la densidad, C_p el valor específico a presión constante, C la capacidad calorífica y T la temperatura.

Se determina la cantidad de fluido que debería ser extraída del yacimiento para recuperar este calor, dividiendo el calor recuperable por la diferencia entre la entalpía que tiene el agua en el yacimiento y la que tendría si se enfriara hasta temperatura ambiente:

$$M_{Recuperable} = \frac{q_{Recurable}}{h_{yacimiento} - h_{ambiente}}$$

| | | |
|---|--|---|
| Realizado por Dr. Luis Enrique Gómez Pineda Julia Michelle Rodríguez Delgado | Coordinado por M.I. Eric Efrén Villanueva Vega | Aprobado por M.I. Antonio Gómez Roa |
| Función Profesor de Tiempo Completo Alumna | Función Profesor de Tiempo Completo | Función Director |

| | | |
|---|--|-------------------|
|  | UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA ESCUELA DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA UNIDAD VALLE DE LAS PALMAS | CÓDIGO: SG-PE-IER |
| | PROGRAMA EDUCATIVO DE INGENIERÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES | REVISIÓN No. 2 |
| | MANUAL DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO/TALLER | PAGINA 3 / 19 |

Posteriormente se evalúa la fracción de vapor que se genera en superficie al llevar el fluido a la presión de separación, esto permitirá convertir la masa recuperable (condiciones ideales) en masa aprovechable (condiciones reales).

$$M_{Aprovechable} = X_{separador} \cdot M_{Recuperable}$$

La calidad en el separador es la fracción de fluido recuperado que realmente puede ser utilizado en la generación, será una función de la presión de separación (si se supone flujo isoentálpico):

$$X_{separador} = \frac{h_{yacimiento} - h_{f@sep}}{h_{fg@sep}}$$

Cuando ya se conoce la cantidad de masa aprovechable se podrá determinar de forma sencilla el potencial geotérmico en potencia eléctrica dividiendo este valor por el tiempo de explotación y el consumo específico calculado de la central:

$$\dot{W}_{electrica} = \frac{M_{Aprovechable}}{CE_{central} \cdot t}$$


5. Procedimiento

Determinar la potencia entregada tomando como punto de partida el escenario base modificando:

Sensibilidad del modelo USGS

| | | | | |
|--------------------|-----|-----|-----|-----------------|
| Temperatura | 210 | 240 | 260 | °C |
| Área | 4 | 6.5 | 8 | km ² |
| Espesor | 0.7 | 1.5 | 2 | km |
| Porosidad | 4 | 6 | 8 | % |

| | | |
|---|--|---|
| Realizado por Dr. Luis Enrique Gómez Pineda Julia Michelle Rodríguez Delgado | Coordinado por M.I. Eric Efrén Villanueva Vega | Aprobado por M.I. Antonio Gómez Roa |
| Función Profesor de Tiempo Completo Alumna | Función Profesor de Tiempo Completo | Función Director |

| | | |
|---|--|-------------------|
|  | UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA ESCUELA DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA UNIDAD VALLE DE LAS PALMAS | CÓDIGO: SG-PE-IER |
| | PROGRAMA EDUCATIVO DE INGENIERÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES | REVISIÓN No. 2 |
| | MANUAL DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO/TALLER | PAGINA 4 / 19 |

Parámetros de explotación

| Parámetro | Variable | Valor | Unidades |
|-----------------------------|-----------|--------------|-------------------|
| Tiempo de vida | t | 30 | Años |
| Tipo de Central | - | Condensación | - |
| Presión de separación | P_{sep} | 10 | Bar |
| Consumo específico de vapor | CE | 7 | $\frac{Ton}{MWh}$ |


Escenario base

| Caso | Unidades | General |
|---------------|--------------------------|-----------|
| V_{yac} | km^3 | 9.7 |
| Porosidad | % | 6 |
| Temperatura | $^{\circ}C$ | 240 |
| $X_{inicial}$ | % | 14 |
| Extracción | | Homogéneo |
| C_{Roca} | $\frac{kJ}{kg^{\circ}C}$ | 1.1 |
| ρ_{roca} | ton/m^3 | 2.7 |

6. Bibliografía

[1] Çengel, Y. A., & Boles, M. A. (2015). *Termodinámica (8a. McGraw Hill México.)*
 DiPippo, R. (2012).

| | | |
|---|--|---|
| Realizado por Dr. Luis Enrique Gómez Pineda Julia Michelle Rodríguez Delgado | Coordinado por M.I. Eric Efrén Villanueva Vega | Aprobado por M.I. Antonio Gómez Roa |
| Función Profesor de Tiempo Completo Alumna | Función Profesor de Tiempo Completo | Función Director |

| | | |
|---|--|-------------------|
|  | UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA ESCUELA DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA UNIDAD VALLE DE LAS PALMAS | CÓDIGO: SG-PE-IER |
| | PROGRAMA EDUCATIVO DE INGENIERÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES | REVISIÓN No. 2 |
| | MANUAL DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO/TALLER | PAGINA 5 / 19 |

PRÁCTICA 2. ANÁLISIS TERMODINÁMICO DE UNA CENTRAL TÉRMICA HÍBRIDA.

1. Objetivo

Determinar la eficiencia térmica de una central termoeléctrica de origen geotérmico utilizando el software EES.

2. Alcance

Aplica los balances de energía en un ciclo de potencia de vapor híbrido para generar un código en el software EES, que te permita calcular variables termodinámicas.

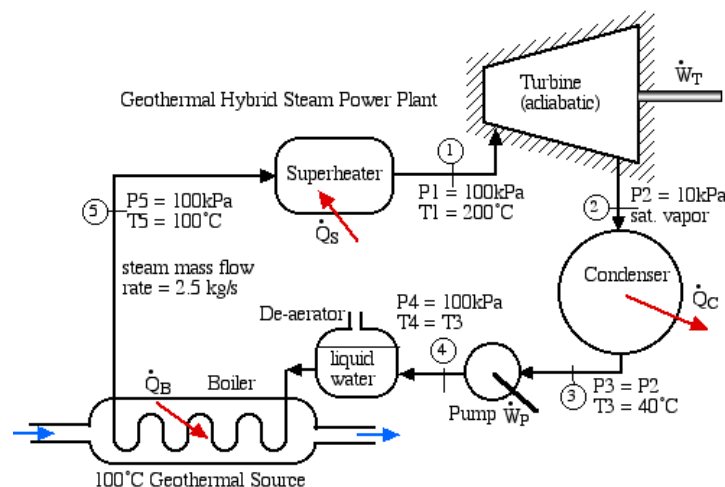
3. Documentación de referencia

Engineering Equation Solver for Microsoft Windows Operating Systems. Commercial and professional versions. http://www.fchart.com/assets/downloads/ees_manual.pdf


4. Definiciones

Una pequeña comunidad de alrededor de 500 hogares descubrieron un recurso geotérmico que puede usarse para hervir agua a 100 °C y les gustaría utilizarlo para generar energía. El siguiente diagrama muestra el diseño inicial de una planta geotérmica de baja presión en donde el agua hierve absorbiendo calor geotérmico a 100 °C y, posteriormente se sobrecalienta a 200 °C.

5. Procedimiento



| | | |
|---|--|---|
| Realizado por Dr. Luis Enrique Gómez Pineda Julia Michelle Rodríguez Delgado | Coordinado por M.I. Eric Efrén Villanueva Vega | Aprobado por M.I. Antonio Gómez Roa |
| Función Profesor de Tiempo Completo Alumna | Función Profesor de Tiempo Completo | Función Director |


| | | |
|---|--|-------------------|
|  | UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA ESCUELA DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA UNIDAD VALLE DE LAS PALMAS | CÓDIGO: SG-PE-IER |
| | PROGRAMA EDUCATIVO DE INGENIERÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES | REVISIÓN No. 2 |
| | MANUAL DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO/TALLER | PAGINA 6 / 19 |

- a) Determine la potencia de salida de la turbina.
- b) Asumiendo que la bomba de alimentación de agua es adiabática y que el líquido comprimido no experimenta cambio de temperatura al pasar por la bomba, determine la potencia requerida para accionar la bomba.
- c) Determine el calor absorbido tanto en el intercambiador de calor y supercalentador.
- d) Determine la eficiencia térmica.

6. Bibliografía

- [1] Çengel, Y. A., & Boles, M. A. (2015). *Termodinámica (8a. McGraw Hill México.)*
 DiPippo, R. (2012).
 [2] Geothermal power plants: principles, applications, case studies and environmental impact. Butterworth-Heinemann.

| | | |
|---|--|---|
| Realizado por Dr. Luis Enrique Gómez Pineda Julia Michelle Rodríguez Delgado | Coordinado por M.I. Eric Efrén Villanueva Vega | Aprobado por M.I. Antonio Gómez Roa |
| Función Profesor de Tiempo Completo Alumna | Función Profesor de Tiempo Completo | Función Director |

| | | |
|---|--|-------------------|
|  | UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA ESCUELA DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA UNIDAD VALLE DE LAS PALMAS | CÓDIGO: SG-PE-IER |
| | PROGRAMA EDUCATIVO DE INGENIERÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES | REVISIÓN No. 2 |
| | MANUAL DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO/TALLER | PAGINA 7 / 19 |

PRÁCTICA 3. ANÁLISIS DE UN CICLO BINARIO

1. Objetivo

Aplicar las leyes de la termodinámica en el análisis energético y exergético de un ciclo binario simple.

2. Alcance

Realiza balances de energía en los dispositivos para el cálculo energético.

3. Documentación de referencia

Reynolds, W. C. (1979). *Thermodynamic properties in SI-graphs, tables and computational equations for 40 substances* (No. BOOK). University, Department of mechanical engineering.

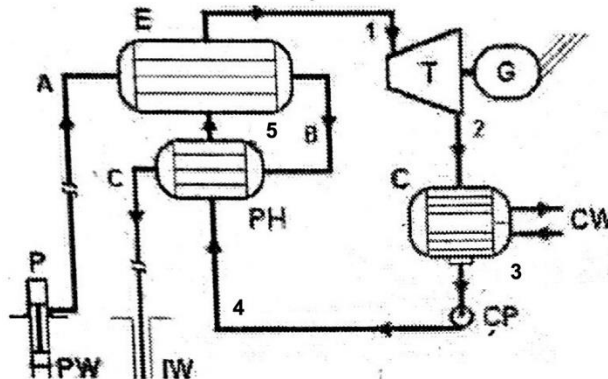
4. Definiciones

En la figura se muestra un ciclo binario usando como fluido de trabajo isopentano $i\text{-C}_5\text{H}_{12}$. La potencia neta es de 1,200 kW. Las pérdidas de presión en los intercambiadores y en las tuberías son insignificante.

Las especificaciones del ciclo son las siguientes:

- Temperatura de la salmuera de entrada, $T_A = 440 \text{ K}$
- Calor específico de la salmuera, $c_b = 4.19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$
- Densidad de la salmuera = $56 \frac{\text{lbm}}{\text{ft}^3}$
- Diferencia de temperatura Pinch-Point = 5 K
- Presión del sistema precalentador-evaporador, $P_5 = P_6 = P_1 = 2.0 \text{ MPa}$
- Temperatura de condensación, $T_4 = 320 \text{ K}$
- Eficiencia isentrópica de la turbina = 85%
- Eficiencia isentrópica de la bomba = 75%

| | | |
|---|--|---|
| Realizado por Dr. Luis Enrique Gómez Pineda Julia Michelle Rodríguez Delgado | Coordinado por M.I. Eric Efrén Villanueva Vega | Aprobado por M.I. Antonio Gómez Roa |
| Función Profesor de Tiempo Completo Alumna | Función Profesor de Tiempo Completo | Función Director |



5. Procedimiento


Determine lo siguiente:

- Trabajo específico de la turbina, w_T , en $\frac{kJ}{kg \text{ i-C}_5\text{H}_{12}}$.
- El calor rechazado al agua de enfriamiento, q_c , en $\frac{kJ}{kg \text{ i-C}_5\text{H}_{12}}$.
- Trabajo específico de la bomba, w_p , en $\frac{kJ}{kg \text{ i-C}_5\text{H}_{12}}$.
- Calor transferido al flujo de trabajo, q_{IN} , en $\frac{kJ}{kg \text{ i-C}_5\text{H}_{12}}$.
- Eficiencia térmica del ciclo, η_{th} , en %
- Flujo másico del i-C₅H₁₂, \dot{m}_{i-C_5} , en $\frac{kg}{s}$.
- Flujo másico de la salmuera, \dot{m}_b , en $\frac{kg}{s}$.
- Temperatura de salida de la salmuera, T_c , en K.
- Número de pozos necesarios si un pozo típico puede producir 800-900 GPM.
- Eficiencia según la segunda ley.

6. Bibliografía

[2] Geothermal power plants: principles, applications, case studies and environmental impact. Butterworth-Heinemann.

| | | |
|---|--|---|
| Realizado por Dr. Luis Enrique Gómez Pineda Julia Michelle Rodríguez Delgado | Coordinado por M.I. Eric Efrén Villanueva Vega | Aprobado por M.I. Antonio Gómez Roa |
| Función Profesor de Tiempo Completo Alumna | Función Profesor de Tiempo Completo | Función Director |

| | | |
|---|--|-------------------|
|  | UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA ESCUELA DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA UNIDAD VALLE DE LAS PALMAS | CÓDIGO: SG-PE-IER |
| | PROGRAMA EDUCATIVO DE INGENIERÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES | REVISIÓN No. 2 |
| | MANUAL DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO/TALLER | PAGINA 9 / 19 |

PRÁCTICA 4. SISTEMA HÍBRIDO FLASH BINARIO.

1. Objetivo

Aplicar las leyes de la termodinámica en el análisis energético y exergético de un sistema híbrido flash-binario.

2. Alcance

Realiza balances de energía en los dispositivos para el cálculo de potencias netas y eficiencias.

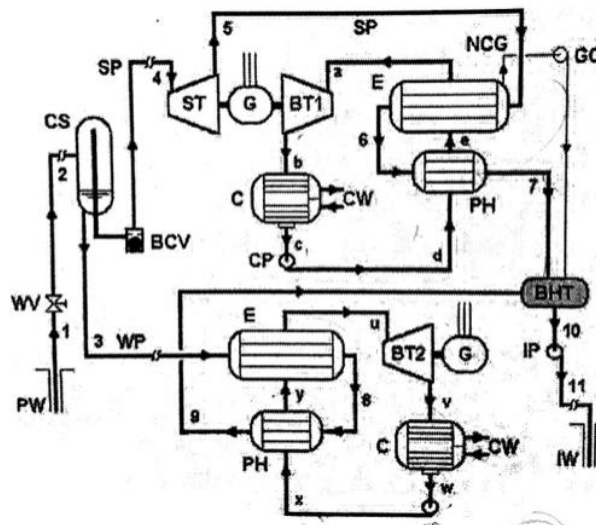
3. Documentación de referencia

Reynolds, W. C. (1979). *Thermodynamic properties in SI-graphs, tables and computational equations for 40 substances* (No. BOOK). University, Department of mechanical engineering.

4. Definiciones

Este es el caso de una planta flash con ciclo binario. Se utilizarán valores arbitrarios para las condiciones del geofluido y los parámetros del fluido, los resultados serán bastante realistas.

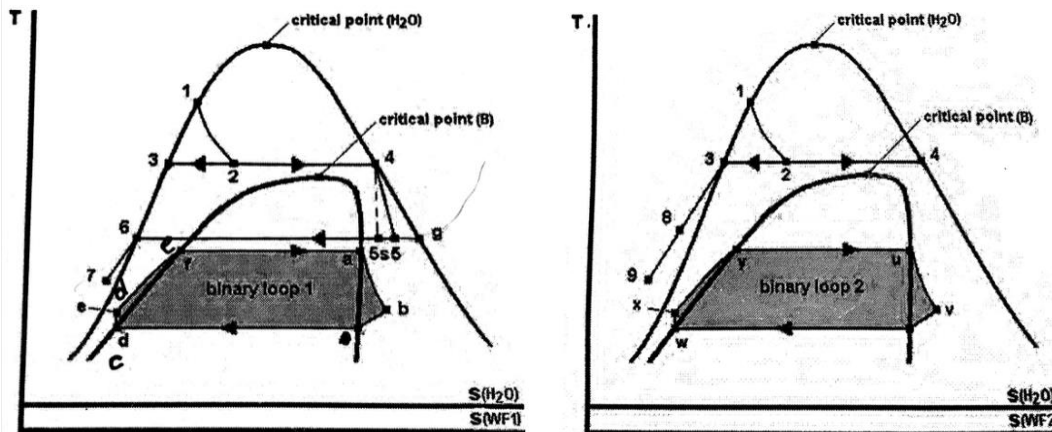
| | | |
|---|--|---|
| Realizado por Dr. Luis Enrique Gómez Pineda Julia Michelle Rodríguez Delgado | Coordinado por M.I. Eric Efrén Villanueva Vega | Aprobado por M.I. Antonio Gómez Roa |
| Función Profesor de Tiempo Completo Alumna | Función Profesor de Tiempo Completo | Función Director |



Las condiciones son:

- Temperatura del reservorio, $T_1 = 250 \text{ }^\circ\text{C}$.
- Flujo másico de la salmuera, $\dot{m}_b = 500 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$.
- Temperatura en estado muerto, $T_0 = 25 \text{ }^\circ\text{C} = 298.15 \text{ K}$.
- Temperatura del separador flash, $T_2 = 185 \text{ }^\circ\text{C}$.
- Presión de salida de la turbina de vapor, $P_5 = 1.5 \text{ bar}$.
- Temperatura de salida del condensador de vapor, $T_7 = 65 \text{ }^\circ\text{C}$.
- Temperatura de salida de la salmuera, $T_9 = 165 \text{ }^\circ\text{C}$.
- Fluido de trabajo del ciclo binario (ambos ciclos): n-pentano, C_5H_{12} .
- Temperatura de entrada de la turbina en ciclo superior, $T_a = 380 \text{ K}$ (saturado).
- Temperatura de entrada de la turbina en el ciclo inferior, $T_u = 420 \text{ K}$ (saturado).
- Temperatura de condensación en ambos ciclos, $T_d = T_w = 310 \text{ K}$.
- Eficiencia isentrópica de la turbina de vapor, $\eta_{st} = 0.80$.
- Eficiencia isentrópica de la turbina C_5 , $\eta_{bT2} = 0.85$.
- Eficiencia isentrópica de la bomba C_5 , $\eta_{CP1} = \eta_{CP2} = 0.75$.

| | | |
|---|--|---|
| Realizado por Dr. Luis Enrique Gómez Pineda Julia Michelle Rodríguez Delgado | Coordinado por M.I. Eric Efrén Villanueva Vega | Aprobado por M.I. Antonio Gómez Roa |
| Función Profesor de Tiempo Completo Alumna | Función Profesor de Tiempo Completo | Función Director |



5. Procedimiento


Determine lo siguiente:

- Potencia de salida de la turbina de vapor, W_{ST} .
- Potencia net de salida en el ciclo superior, $\dot{W}_{B1,net}$.
- Potencia neta de salida en el ciclo inferior, $\dot{W}_{B2,net}$.
- Eficiencia térmica en ambos ciclos, $\eta_{B1,th}$ y $\eta_{B2,th}$.
- Eficiencia según la segunda ley, η_u .

6. Bibliografía

[2] Geothermal power plants: principles, applications, case studies and environmental impact. Butterworth-Heinemann.

| | | |
|---|--|---|
| Realizado por Dr. Luis Enrique Gómez Pineda Julia Michelle Rodríguez Delgado | Coordinado por M.I. Eric Efrén Villanueva Vega | Aprobado por M.I. Antonio Gómez Roa |
| Función Profesor de Tiempo Completo Alumna | Función Profesor de Tiempo Completo | Función Director |

| | | |
|---|--|-------------------|
|  | UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA ESCUELA DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA UNIDAD VALLE DE LAS PALMAS | CÓDIGO: SG-PE-IER |
| | PROGRAMA EDUCATIVO DE INGENIERÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES | REVISIÓN No. 2 |
| | MANUAL DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO/TALLER | PAGINA 12 / 19 |

PRÁCTICA 5. ANÁLISIS TERMODINÁMICO DE UNA BOMBA DE CALOR GEOTÉRMICA (CASO 1)

1. Objetivo

Determinar los coeficientes de operación de un sistema de climatización geotérmica y de agua caliente sanitaria con el uso del software EES.

2. Alcance

Aplica los balances de energía en una bomba de calor geotérmica para evaluar flujos de calor, consumo de trabajo y rendimiento a través del software EES.

3. Documentación de referencia


Engineering Equation Solver for Microsoft Windows Operating Systems. Commercial and professional versions. http://www.fchart.com/assets/downloads/ees_manual.pdf

4. Definiciones

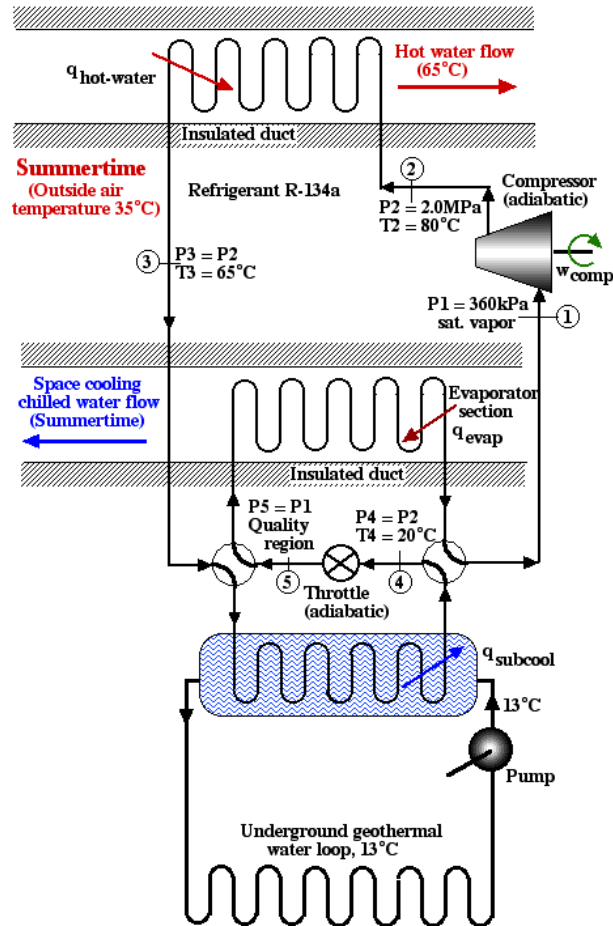
En el 2010 el profesor John Vann de la **Ball State University** en Indiana, fue a la Ohio University para dar una platica sobre los cambios que había realizado la BSU para sustituir el calor proveniente de la quema de carbón, por calor geotérmico. Este impresionante proyecto tomaría 5 años en completarse y es uno de los sistemas de energía geotérmica más grandes del país. Durante la platica no habló sobre muchos detalles técnicos, pero si logró describir **todo el sistema de la BSU**, el cual incluye 4100 perforaciones para extraer o rechazar al calor de la tierra, el calor es después transferido a través de dos estaciones energéticas a una red de ciclos de agua caliente y agua fría que fluyen a través de todo el campos para proveer el servicio de agua caliente (a alrededor de 150 °F) y de calentamiento o enfriamiento de aire, según sea requerido. (El sistema fue completa en el 2012).

Nos quedamos intrigados con el concepto y nos gustaría evaluar la viabilidad termodinámica y el desempeño de un sistema de bomba de calor geotérmica. El siguiente diagrama representa un posible sistema para utilizarse durante el tiempo de verano, el cual proveerá agua caliente a 65 °C y con agua fría a alrededor de 13 °C enfriará aire. Nota: Este sistema fue ideado por nosotros con la finalidad de determinar solo la viabilidad del mismo, ninguna de la información utilizada fue obtenida de la BSU. Utilizamos **Refrigerante R134a**, ya que este es el único refrigerante que cuenta con tablas disponibles. De hecho tuvimos que añadir nuevos datos a nuestras tablas, debido a que con un limite de 1.6 MPa no se podía llegar a la temperatura deseada de 65 °C. Notese que el flujo masico y el poder requerido no esta

| | | |
|---|--|---|
| Realizado por Dr. Luis Enrique Gómez Pineda Julia Michelle Rodríguez Delgado | Coordinado por M.I. Eric Efrén Villanueva Vega | Aprobado por M.I. Antonio Gómez Roa |
| Función Profesor de Tiempo Completo Alumna | Función Profesor de Tiempo Completo | Función Director |

| | | |
|---|--|-------------------|
|  | UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA ESCUELA DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA UNIDAD VALLE DE LAS PALMAS | CÓDIGO: SG-PE-IER |
| | PROGRAMA EDUCATIVO DE INGENIERÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES | REVISIÓN No. 2 |
| | MANUAL DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO/TALLER | PAGINA 13 / 19 |


especificada aun cuando este modelo representa a un sistema adecuado para cualquier tamaño
 Todos los resultados energéticos estarán en kJ/kg.



5. Procedimiento

Utilizando las condiciones representadas en el diagrama, realice lo siguiente:

| | | |
|---|--|---|
| Realizado por Dr. Luis Enrique Gómez Pineda Julia Michelle Rodríguez Delgado | Coordinado por M.I. Eric Efrén Villanueva Vega | Aprobado por M.I. Antonio Gómez Roa |
| Función Profesor de Tiempo Completo Alumna | Función Profesor de Tiempo Completo | Función Director |


| | | |
|---|--|-------------------|
|  | UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA ESCUELA DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA UNIDAD VALLE DE LAS PALMAS | CÓDIGO: SG-PE-IER |
| | PROGRAMA EDUCATIVO DE INGENIERÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES | REVISIÓN No. 2 |
| | MANUAL DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO/TALLER | PAGINA 14 / 19 |

- a) Determine la energía absorbida por el flujo de agua caliente y que fue extraída por el agua fría.
- b) Determine la energía requerida para accionar el compresor.
- c) Determine el Coeficiente de Desempeño del sistema de calentamiento de agua caliente (COP_{HW}).
- d) Determine el Coeficiente de Desempeño de el sistema de agua fría (COP_R).

6. Bibliografía

[1] Çengel, Y. A., & Boles, M. A. (2015). *Termodinámica (8a. McGraw Hill México.)*

| | | |
|---|--|---|
| Realizado por Dr. Luis Enrique Gómez Pineda Julia Michelle Rodríguez Delgado | Coordinado por M.I. Eric Efrén Villanueva Vega | Aprobado por M.I. Antonio Gómez Roa |
| Función Profesor de Tiempo Completo Alumna | Función Profesor de Tiempo Completo | Función Director |

| | | |
|---|--|-------------------|
|  | UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA ESCUELA DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA UNIDAD VALLE DE LAS PALMAS | CÓDIGO: SG-PE-IER |
| | PROGRAMA EDUCATIVO DE INGENIERÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES | REVISIÓN No. 2 |
| | MANUAL DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO/TALLER | PAGINA 15 / 19 |

PRÁCTICA 6. ANÁLISIS TERMODINÁMICO DE UNA BOMBA DE CALOR GEOTÉRMICA (CASO 2)

1. Objetivo

Calcular variables termodinámicas de una bomba de calor geotérmica utilizando el software EES.

2. Alcance

Aplica los balances de energía en un bomba de calor geotérmica para evaluar flujos de calor, consumo de trabajo y rendimiento a través del software EES.

3. Documentación de referencia

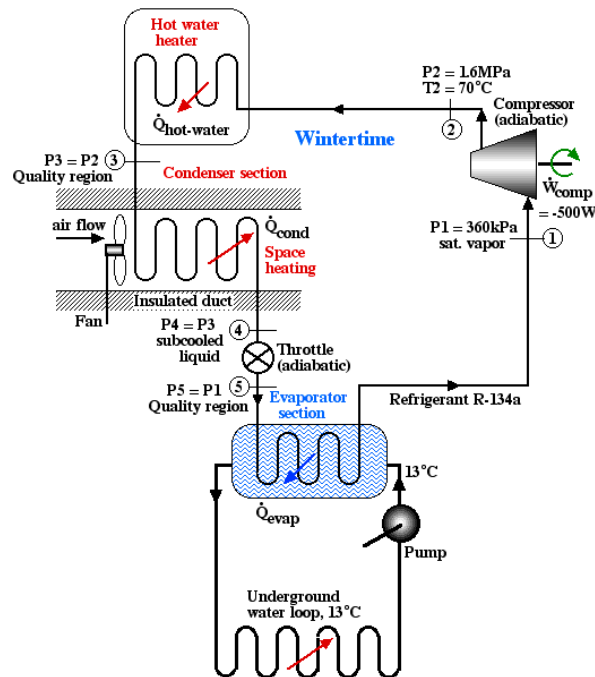
Engineering Equation Solver for Microsoft Windows Operating Systems. Commercial and professional versions. http://www.fchart.com/assets/downloads/ees_manual.pdf

4. Definiciones

Realizaremos un análisis termodinámico preliminar del siguiente sistema geotérmico residencial de bomba de calor diseñado para calentamiento de aire y agua en invierno. Tenga en cuenta que con las válvulas adecuadas este sistema puede utilizarse en invierno para calentamiento de aire y en verano para acondicionamiento, con calentamiento de agua durante todo el año.

Tenga en cuenta que la sección del condensador incluye tanto el agua caliente como el calentador y la estación (3) está especificada en la región de calidad. Asuma que 50 °C es una temperatura máxima aceptable de agua caliente para uso doméstico, a una alta presión de 1.6 MPa, la potencia máxima disponible para calentamiento de agua ocurrirá cuando el refrigerante en la estación (3) alcance el estado de líquido saturado. (Prueba rápida: justifique lo siguiente). También asuma que el refrigerante en la estación (4) alcanza una temperatura de 20 °C como líquido subenfriado mientras se calienta el aire.

| | | |
|---|--|---|
| Realizado por Dr. Luis Enrique Gómez Pineda Julia Michelle Rodríguez Delgado | Coordinado por M.I. Eric Efrén Villanueva Vega | Aprobado por M.I. Antonio Gómez Roa |
| Función Profesor de Tiempo Completo Alumna | Función Profesor de Tiempo Completo | Función Director |



5. Procedimiento


Utilizando las condiciones expresadas en el diagrama y asumiendo que la estación (3) este en estado líquido saturado.

- Determine el flujo másico del refrigerante R134a.
- Determine la potencia absorbida por el agua caliente y la absorbida por el calentador.
- Determine el tiempo que le toma a 100 litros de agua a una temperatura inicial de 20 °C alcanzar la temperatura requerida de 50 °C.
- Determine el coeficiente de desempeño del calentador de agua.
- Determine el coeficiente de desempeño de la bomba de calor.

6. Bibliografía

[1] Çengel, Y. A., & Boles, M. A. (2015). *Termodinámica (8a. McGraw Hill México.)*

| | | |
|---|--|---|
| Realizado por Dr. Luis Enrique Gómez Pineda Julia Michelle Rodríguez Delgado | Coordinado por M.I. Eric Efrén Villanueva Vega | Aprobado por M.I. Antonio Gómez Roa |
| Función Profesor de Tiempo Completo Alumna | Función Profesor de Tiempo Completo | Función Director |

| | | |
|---|--|-------------------|
|  | UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA ESCUELA DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA UNIDAD VALLE DE LAS PALMAS | CÓDIGO: SG-PE-IER |
| | PROGRAMA EDUCATIVO DE INGENIERÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES | REVISIÓN No. 2 |
| | MANUAL DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO/TALLER | PAGINA 17 / 19 |

PRÁCTICA 7. ANÁLISIS TERMODINÁMICO DE UNA BOMBA DE CALOR GEOTÉRMICA (CASO 3)

1. Objetivo

Evaluar termodinámicamente un Sistema de Calefacción basado en una bomba de calor geotérmica utilizando el software EES.

2. Alcance

Aplica los balances de energía en una bomba de calor geotérmica para evaluar flujos de calor, consumo de trabajo y rendimiento a través del software EES.

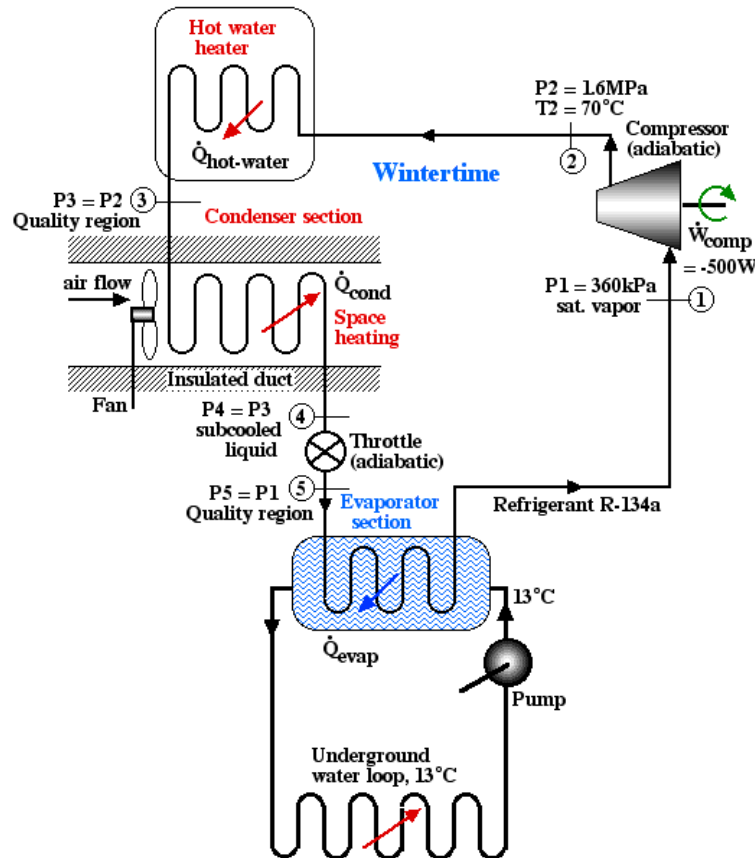
3. Documentación de referencia

Engineering Equation Solver for Microsoft Windows Operating Systems. Commercial and professional versions. http://www.fchart.com/assets/downloads/ees_manual.pdf

4. Definiciones

En este ejercicio se desea evaluar un sistema que operará durante el tiempo de invierno, el cual se busca que provea agua caliente a 65 °C al igual que calentamiento de aire a más de 20 °C, aún cuando la temperatura del aire exterior llegue a temperaturas tan bajas como -10 °C. En esta operación se introducen las válvulas de dos vías y dos posiciones como se muestran en la figura, para poder cambiar la operación del tiempo de verano al tiempo de invierno, en la cual la fuente de calor geotérmica se convierte en la sección de evaporación de la bomba de calor, y el refrigerante ahora calienta el agua del sistema para calentar el aire.


| | | |
|---|--|---|
| Realizado por Dr. Luis Enrique Gómez Pineda Julia Michelle Rodríguez Delgado | Coordinado por M.I. Eric Efrén Villanueva Vega | Aprobado por M.I. Antonio Gómez Roa |
| Función Profesor de Tiempo Completo Alumna | Función Profesor de Tiempo Completo | Función Director |



5. Procedimiento

- Determine el trabajo específico realizado para accionar el compresor.
- Determine el coeficiente de desempeño del sistema de agua caliente (COPHW).
- Determine el coeficiente de desempeño del sistema de agua de calefacción (COPHP).
- Si no se utiliza un circuito geotérmico para evaporar el refrigerante, entonces el sistema necesitaría ser rediseñado, reduciendo la entrada al compresor (1) de 360 kPa a 140 kPa, vapor saturado, y la salida del compresor (2) a 2 MPa, 90 °C.

| | | |
|---|--|---|
| Realizado por Dr. Luis Enrique Gómez Pineda Julia Michelle Rodríguez Delgado | Coordinado por M.I. Eric Efrén Villanueva Vega | Aprobado por M.I. Antonio Gómez Roa |
| Función Profesor de Tiempo Completo Alumna | Función Profesor de Tiempo Completo | Función Director |

| | | |
|---|--|-------------------|
|  | UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA ESCUELA DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA UNIDAD VALLE DE LAS PALMAS | CÓDIGO: SG-PE-IER |
| | PROGRAMA EDUCATIVO DE INGENIERÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES | REVISIÓN No. 2 |
| | MANUAL DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO/TALLER | PAGINA 19 / 19 |

- e) Determine el trabajo específico realizado para conducir el compresor bajo las nuevas condiciones que se presentaron anteriormente.
- f) Utilizando las nuevas condiciones presentadas anteriormente, determine los coeficientes de operatividad de ambos sistemas, agua caliente y calefacción de espacios y discutir las ventajas de utilizar un circuito geotérmico para el funcionamiento en invierno.

6. Bibliografía

[1] Çengel, Y. A., & Boles, M. A. (2015). *Termodinámica (8a. McGraw Hill México.)*

| | | |
|---|--|---|
| Realizado por Dr. Luis Enrique Gómez Pineda Julia Michelle Rodríguez Delgado | Coordinado por M.I. Eric Efrén Villanueva Vega | Aprobado por M.I. Antonio Gómez Roa |
| Función Profesor de Tiempo Completo Alumna | Función Profesor de Tiempo Completo | Función Director |