

DISEÑO TERMODINÁMICO DEL SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA DE MAR PARA AIRE ACONDICIONADO OCEÁNICO.

Autores: **Br. Miguel Pérez Hilario / Ing. Victor Fco. Sena C.**
Asesor: **Ing. Eduardo Sagredo, BSME, MSNE, PhD, PE**

RESUMEN

Este trabajo es un proyecto futurista donde pretendemos aprovechar el agua de mar para producir aire acondicionado, estudiaremos el papel que juega la relación profundidad-temperatura y así conocer la más adecuada en nuestro sistema.

Nuestro principal objetivo comprende el diseño del sistema que proveerá la energía para extraer el agua de mar, entre otros equipos, trabajaremos en base al ciclo Rankine y su utilidad en el proyecto, de ahí partiremos para hacer una correcta selección de los equipos como Bombas, Evaporador, Condensador y Turbina, también la selección de las sustancias más adecuadas para ser evaporada, por el momento utilizaremos Refrigerante 134a.

Dentro del ciclo Rankine, basado en el ciclo de potencia de Carnot; evaporaremos el refrigerante a alta temperatura, este vapor llegará a la turbina, moviendo los álabes y accionando el rodete, la turbina al encenderse generará un trabajo, el cual producirá la energía necesaria, el ciclo seguirá su curso, el vapor que sale de la turbina a baja presión es aprovechado en el condensador, cuando este alcanza el estado líquido saturado, la bomba lo transportaría al evaporador, completando de esa manera el Ciclo.

INTRODUCCIÓN

El ser humano, como parte fundamental en el desarrollo de la sociedad, siempre ha buscado la forma de facilitarse el trabajo, teniendo como fin principal reducir los costos de producción.

Los costos de la electricidad siguen muy altos, y las grandes empresas gastan un dineral en facturas que se ven incrementadas por la energía utilizada por grandes equipos de aire acondicionado, como nuestro proyecto no dependerá de la energía eléctrica para producir trabajo, este se hará más eficiente y asequible cuando se piense en soluciones a largo plazo, además de sus efectos medioambientales.

Nuestra metodología de estudio será exploratoria, descriptiva o explicativa, tuvimos algunas limitaciones debido a que no hay facilidad de hacer pruebas experimentales con los equipos, como variaciones de presión, temperatura, pero se considera que al momento de llevar a cabo el proyecto se tendrá la oportunidad de hacer las selecciones de temperaturas que sean aptas para lograr generar la energía necesaria para producir trabajo.

1. RELACIONES DE LA TEMPERATURA CON LAS PROFUNDIDADES

Conforme la profundidad del mar aumenta, van penetrando menos radiaciones solares, por lo que la temperatura disminuye. Existe una zona colindante en donde se presenta un rápido descenso de la temperatura, llamada termoclina, que divide a estas aguas superficiales, menos densas y menos salinas, de las aguas de las profundidades, más frías, densas y salinas. En los océanos, las termoclinas no son bruscas ni están tan bien diferenciadas como ocurre en el agua dulce.

En general, cuando en los océanos se alcanzan profundidades de 1500 metros o mayores, la temperatura del agua puede ser menor de 4°C, en cualquier parte del mundo, independientemente de la temperatura superficial. En las profundidades de los abismos, a 11 kilómetros, hay una temperatura menor a 2°C, escasamente arriba del punto de congelación del agua salada, que para una salinidad de 25‰ es de menos 1.33°C.

Tomando en cuenta la temperatura de todos los océanos y las diferentes profundidades, se ha fijado la temperatura media del agua marina en 4°C con valores que van desde menos 2°C hasta 32°C.

En la superficie de las aguas marinas tropicales, la temperatura mínima es de 20°C, la máxima de 30°C y la media de 27°C; en las subtropicales, 16°C como mínima, 27°C como máxima y 22°C como media; en las aguas boreal y anti boreal, la mínima es de 1 °C, la máxima de 17°C y la media de 11°C; en el Ártico y Antártico, la mínima va de menos 3 a 1 °C, la máxima es de 9°C y la media de menos 1 a 5°C.

Gráfica resumida de profundidad vs temperatura:

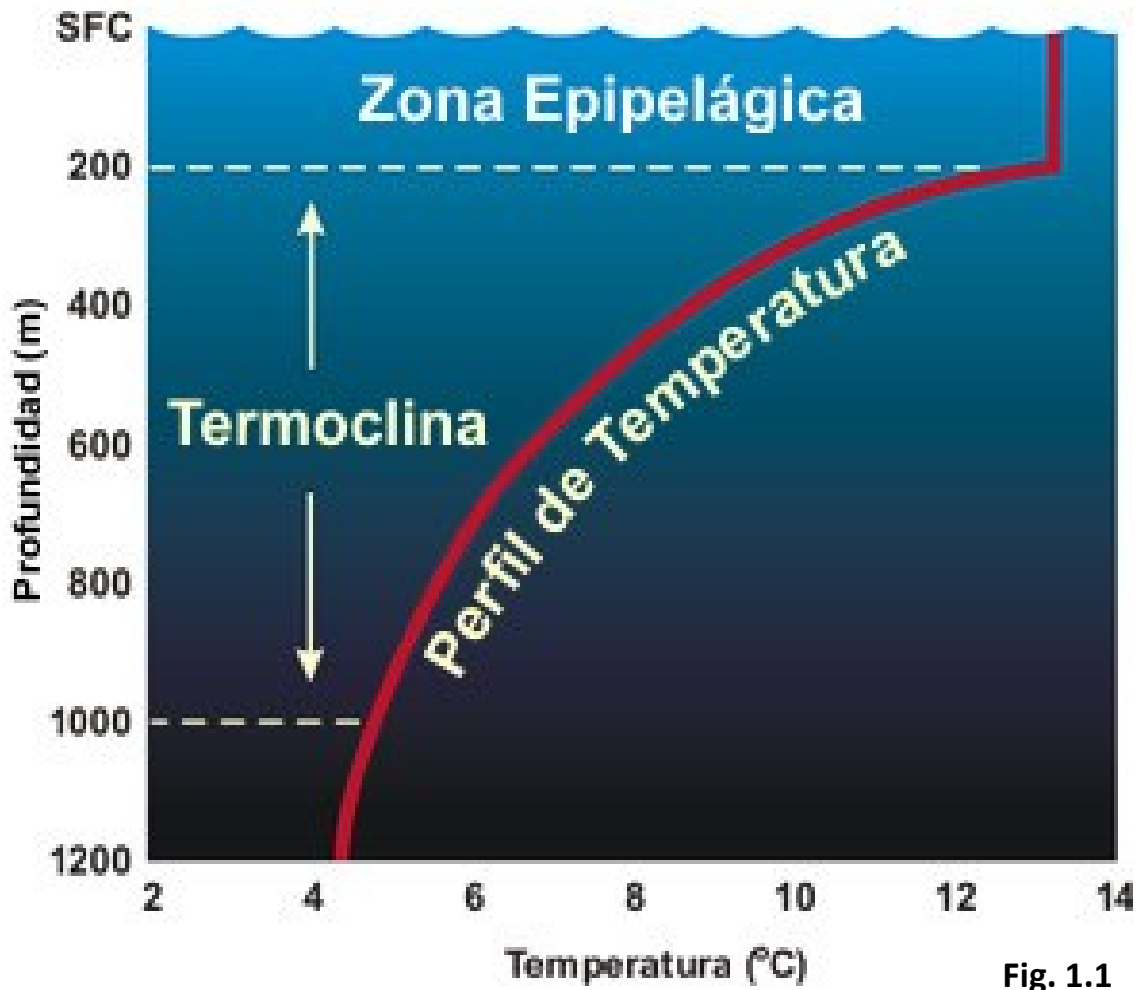


Fig. 1.1

Fig. 1.1: En esta imagen, lo que más nos interesa es que a 1 km o 1000 m de profundidad, las temperaturas (alrededor de 5 °C) son adecuados para llevar a cabo el proyecto de obtención del agua de mar para aire acondicionado oceánico.

2. EL CICLO RANKINE

Es un ciclo termodinámico que tiene como objetivo la conversión de calor en trabajo, constituyendo lo que se denomina un ciclo de potencia. Como cualquier otro ciclo de potencia, su eficiencia está acotada por la eficiencia termodinámica de un ciclo de Carnot que se opera entre los mismos focos térmicos (límite máximo que impone el segundo principio de la termodinámica). Debe su nombre a su desarrollador, el ingeniero y físico escocés William John Macquorn Rankine.

1-2: Compresión isentrópica en una bomba.

2-3: Adición de calor a presión constante en una caldera o evaporador.

3-4: Expansión isentrópica en una turbina.

4-1: Expulsión de calor a presión constante en un condensador.

2.1. El Condensador:

Un condensador es un intercambiador de calor latente que convierte el vapor (desde su estado gaseoso) en estado líquido, también conocido como fase de transición. El propósito es condensar la salida (o extractor) de vapor de la turbina de vapor para así obtener máxima eficiencia e igualmente obtener el vapor condensado en forma de líquido puro de regreso a la caldera o evaporador y así aumentar la eficiencia.

2.2. El Evaporador:

De la misma forma que el condensador, el evaporador es un intercambiador de calor. Su función es transferir el calor al fluido refrigerante que está circulando. Así, el fluido refrigerante, que está en estado líquido, se convierte en vapor.

El principio que explica su papel en el sistema es que la evaporación de cualquier líquido exige absorción de calor. Este fluido refrigerante en forma gaseosa a alta presión y temperatura, saldrá del evaporador y entrará a la turbina que generará trabajo expandiendo el fluido y descargándolo en el condensador a baja presión.

2.3. Turbinas de Vapor:

Desde el punto de vista de la mecánica, tiene la ventaja de producir directamente un movimiento giratorio sin necesidad de una manivela o algún otro medio de convertir la energía de vaivén en energía rotatoria. Las turbinas de vapor se utilizan en la generación de energía eléctrica de origen nuclear y en la propulsión de los buques con plantas nucleares.

2.4. Bombas:

Una bomba es una maquina hidráulica donde la transferencia de energía es del rotor al fluido, produciendo una conversión de energía cinética de presión.

Un equipo de bombeo es un transformador de energía, mecánica que puede proceder de un motor eléctrico, térmico, etc., y la convierte en energía, que un fluido adquiere en forma de presión, de posición y de velocidad.

3. REFRIGERANTE R-134^a

Refrigerante: Es un producto químico líquido o gaseoso, fácilmente licuable, que es utilizado como medio transmisor de calor entre otros dos en una máquina térmica. El refrigerante R134a, es un sustituto para el refrigerante R12. Con el fin de no agotar la capa de ozono, el R134a tampoco es considerado un componente de residuos peligrosos según lo definido por la Ley de la Recuperación y Conservación de Recursos 1976 de los Estados Unidos.

Estructura Molecular: El peso molecular del R134a es de 102.3 gramos (0.23 libras) por mol de moléculas. Su fórmula química de F₃CCH₂F indica que está compuesto de cuatro átomos de flúor, dos átomos de carbono y dos de hidrógeno.

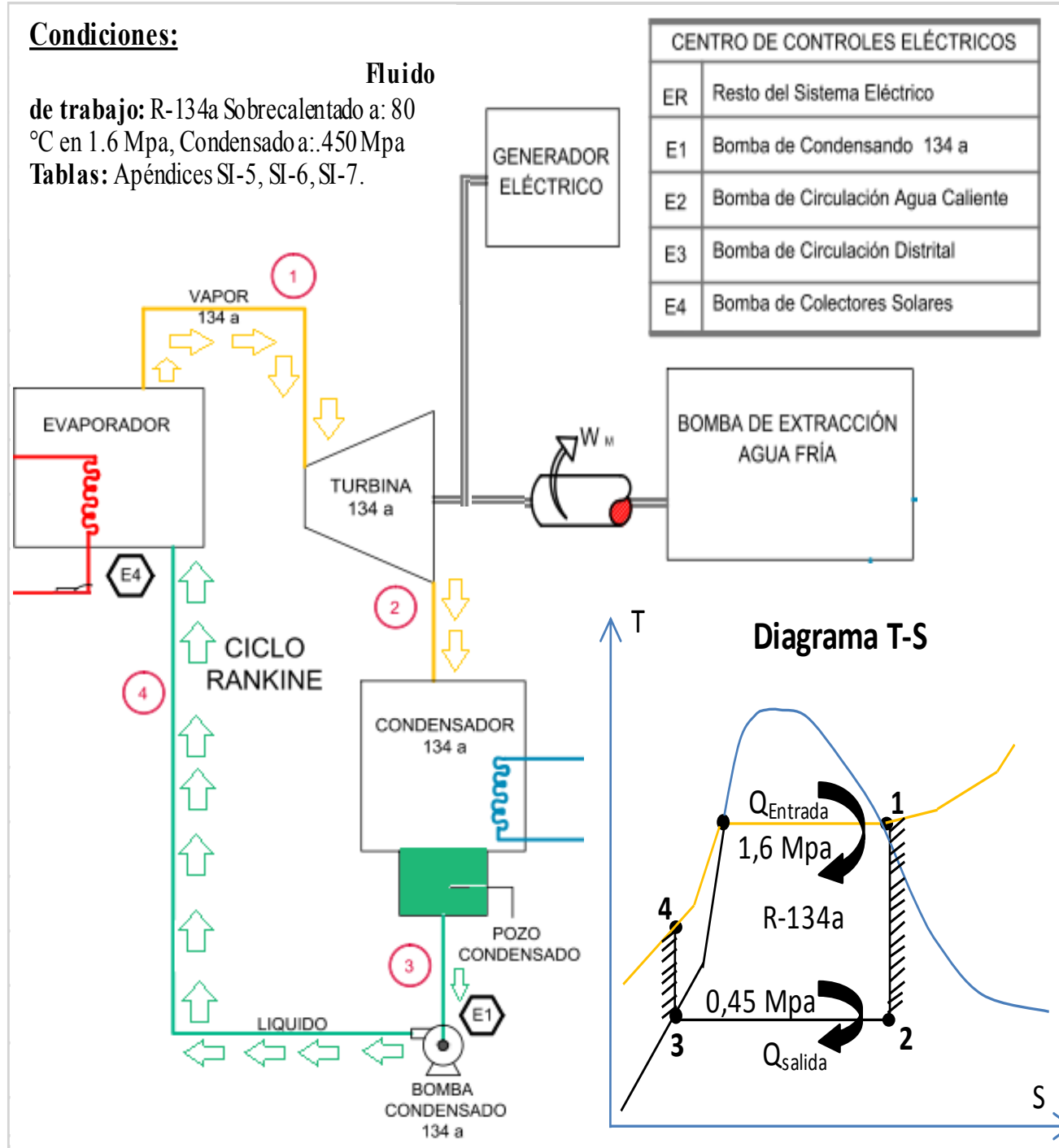
Uso: El uso principal del refrigerante R134a es como un refrigerante ecológico. Además puede sustituir a los CFC como un propulsor en latas de aerosol, así como también en el soplado de espumas elaboradas de polietileno.

Nombres: El refrigerante R134a se conoce por un número de diversos nombres y números de identificación. Freón 134a, 1, 1, 1,2 tetrafluoretano y UN3159 son todos nombres diferentes para él. Sus CAS o servicio de resúmenes químicos, es el número 811-97-2.

Temperatura: Este compuesto congela de un estado líquido a sólido a 141,9 °F (61,055 °C) bajo cero. Cuando está en su estado líquido se reduce y cambia a un gas incoloro con un ligero olor a una temperatura de 15.1 °F (9.444°C) bajo cero.

4. ANALISIS DEL CICLO RANKINE

Análisis del ciclo Rankine utilizando refrigerante R134a, para una potencia de 373 kW:



Cálculo de calores, trabajos y eficiencia del ciclo			Valores conocidos:		
			Presión Entrada, P1=P4, (kPa)	1600.00	kPa
			Temperatura Entrada, T, (°C)	80.00	°C
Wb=	0.92	kJ/kg	h1=hg en 1.6 Mpa (kJ/kg)	305.07	kJ/kg
			s2=s1=sg en 1.6 Mpa (kJ/kg·°k)	0.9875	(kJ/kg·°k)
Wb=h4-h3; h4=wb+h3			Presión salida, P2=P3 (kPa)	450.00	kPa
h4=	69.73	kJ/kg	h3=hf en 0,41489 Mpa (kJ/kg)	68.81	kJ/kg
			hfg= en 0,41489 Mpa (kJ/kg)	188.71	kJ/kg
x2=(s2-sf)/sfg= 1.094083			sf en 0,41489 Mpa (kJ/kg·°k)	0.26465	(kJ/kg·°k)
			sfg en 0,41489 Mpa (kJ/kg·°k)	0.66069	(kJ/kg·°k)
h2=hf+x2*hfg= 275.2745			v3=vf en 0,41489 Mpa (m3/kg)	0.00080	m3/kg
			Flujo másico, ṁ, (kg/s)	12.92	kg/s
Wt=	29.80	kJ/kg	h2 "encontrado" (kJ/kg)	275.27	kJ/kg
			x2 "encontrado" (adimensional)	1.09408	Adimensional
Qent=	235.34	kJ/kg			
			Ecuaciones:		
Qsal=	206.46	kJ/kg	Wentrada, bomba, Wb = v3(P4-P3); Wb=(h4-h3), (kJ/Kg)		
			Wsalida, turbina, Wt = h1-h2, (kJ/kg)		
Wneto=	28.88	kJ/kg	Qsalida, condensador, Qsal = h2-h3, (kJ/kg)		
			Qentrada, evaporador, Qent = h1-h4, (kJ/kg)		
			Wneto = Wsalida, turbina -Wentrada, bomba, (kJ/kg)		
ηterm=	12.27	%	Wneto = Qentrada - Qsalida, (kJ/kg)		
(Carnot)	20.96	%	Flujo másico (ṁ),= (Wneto/Wneto)		
ṁ	<u>12.92</u>	kg/s	Eficiencia Térmica, ηterm= (Wneto/Qentrada)*100, (%)		
			Eficiencia Térmica, ηterm = 1- (Qsalida/Qentrada), (%)		
Wneto=	<u>373</u>	kW	Wneto = ṁ(Wneto), (kJ/s = kW)		

Cálculos totales de trabajos y calores.		
Fuente	Trabajos y calores en KW	Neto del ciclo en kW
Trabajo de la bomba	11.86	373
Trabajo de la Turbina	384.86	
Calor del Condensador	2666.85	373
Calor del Evaporador	3039.85	

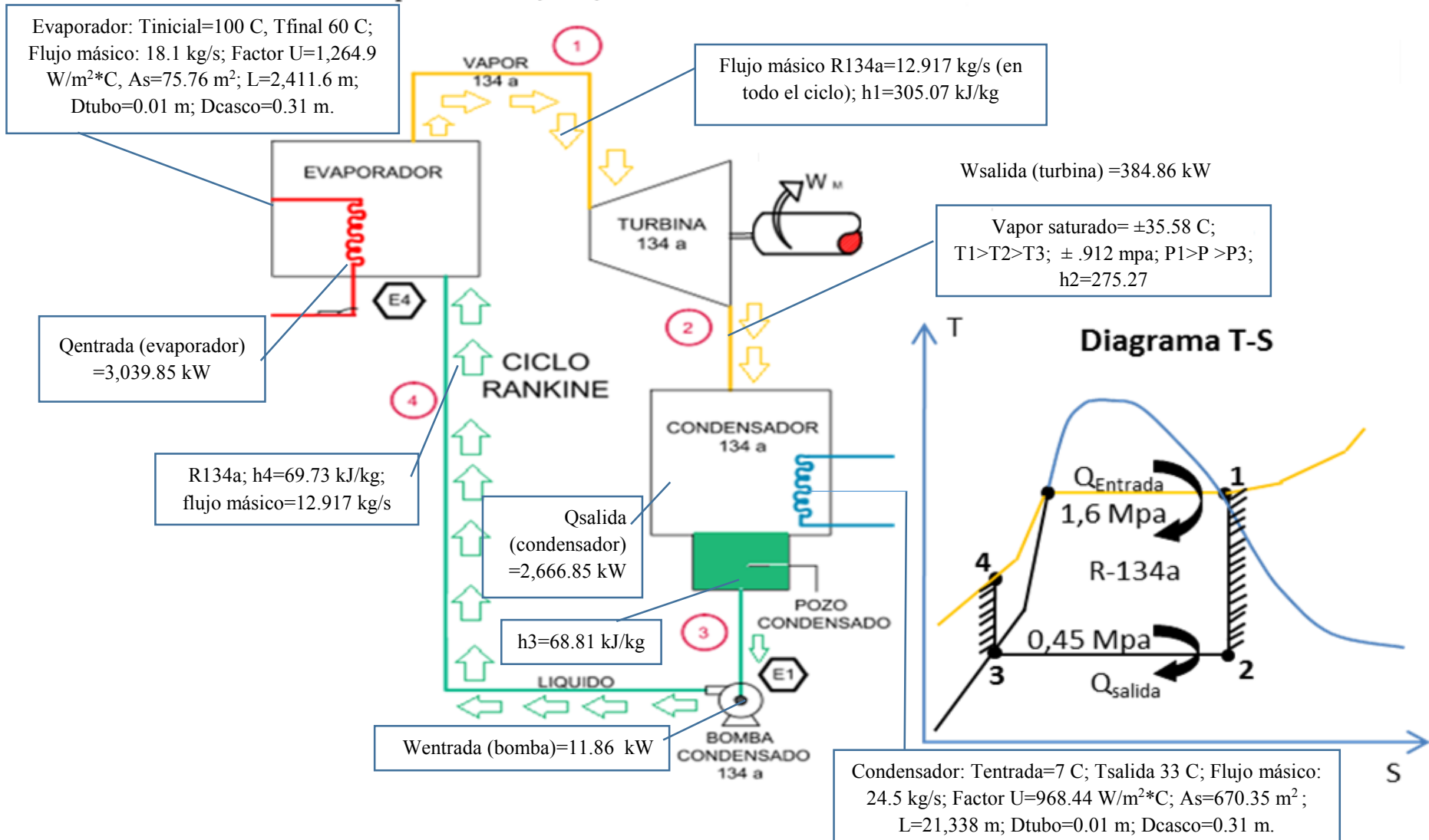
Temperatura y presión de salida de la turbina			
Tablas sobrecalentado			
h2	T	P (mpa)	Entropia
278.30	35.58	0.5	0.9875
Tablas saturado			
h2	T	P (mpa)	Entropia
269.26	36.00	0.91235	0.91675

Algunas ecuaciones para flujos máscicos con Evaporador y Condensador		
$\dot{m} = \frac{Q_{Evap}}{h_1 - h_4}$		
$\dot{m} = \frac{Q_{Cond}}{h_2 - h_3}$	12.91674886	
$\dot{m}h_{2O_Cond} = \frac{Q_{Cond}}{C_{prom} * (T_{sal} - T_{ent})}$		24.50338085
$\dot{m}h_{2O_Cond} = \frac{Q_{Cond}}{h_{sal} - h_{sal}}$		24.49572846
$\dot{m}h_{2O_Evap} = \frac{Q_{Evap}}{C_{prom} * (T_{ent} - T_{sal})}$		18.10727876
$\dot{m}h_{2O_{Evap}} = \frac{Q_{Evap}}{h_{entrada} - h_{salida}}$		18.09542209

Diseño Termodinámico del Sistema de Bombeo de Agua de Mar para Aire Acondicionado Oceánico. (Resumen)

Condiciones:

Fluido de trabajo: R-134a
 Sobrecalentado a: 80 °C en 1.6 Mpa,
 Condensado a: 0.45 Mpa
Tablas: Apéndices SI-5, SI-6, SI-7.



CONCLUSIONES

Al finalizar este trabajo sobre el diseño termodinámico del sistema de bombeo para mover la bomba de circulación de agua de mar para aire acondicionado oceánico, se ha llegado a las siguientes conclusiones:

Las profundidades oceánicas, alrededor de 1000 metros (3,201) serían adecuadas ya que ofrecen temperaturas del agua de mar alrededor de 5 °C (41 °F).

Las aguas superficiales del mar están alrededor de 24 a 32 °C (75.2 a 89.6 °F), las cuales son suficientes para evaporar el R134a, pero utilizaremos paneles solares para incrementar la temperatura del evaporador con el objetivo de hacer el sistema más eficiente.

Después de los cálculos y análisis generales, nos hemos convencimos de que necesitamos una potencia de 500 HP ó 373 kW para poner en funcionamiento todo el centro de controles eléctricos, la turbina se diseñó estilo Curtis, de acción, con un 62% de eficiencia y un flujo másico de 12.917 kg/s.

El los cálculos preliminares, trabajando con R-134a, sobrecalentado a 80 °C, donde pudimos conseguir los siguientes resultados importantes: Trabajo de la turbina: ($W_T=384.86$ kW), Trabajo de la bomba ($W_b=11.86$ kW); Adición de calor ($Q_{ent}= 3,039.85$ kW), Extracción de calor ($Q_{sal}= 2,666.85$ kW), el trabajo neto de flujo ($\dot{W}_{neto}=373.347$ kW).

Esto es una parte de un proyecto de generación de aire acondicionado oceánico, los resultados pueden variar según se hagan pruebas con diferentes temperaturas, debido a que esto es un proyecto de investigación en curso.

BIBLIOGRAFIAS

- http://www.unet.edu.ve/~fenomeno/F_DE_T-164.htm
- http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/17/htm/sec_4.html
- http://www.mar-eco.no/learning-zone/__data/page/152/thermocline-800.jpg
- Cengel, Yunus A. Transferencia de Calor 2da. Edición, Editora: McGraw Hill, traducido por José Hernán Pérez.
- Cengel, Yunus A. Termodinámica. 6ta y 5ta. Ediciones, Editora: McGraw Hill, traducido por José Hernán Pérez.
- Mott, Robert L., Mecánica de Fluidos, 6ta. Ed. Pearson.
- http://www.es.wikipedia.org/wiki/turbina_de_vapor • Apuntes de estudio. Modulo N° 2 Electromecánica • Bombas y Maquinas Soplantes Centrifugas. A.H. Church.
- MATAIX, Claudio. Turbomáquinas Térmicas
- BEJARANO RICO, Rafael. LATORRE CHACON, Leonardo, Bombas Centrifugas Selección, Instalación, Operación, Mantenimiento.
- <http://www.slideshare.net/miguelsune9120/buques-sistemas-de-propulsin-mecnica>
- [es.wikipedia.org/wiki/ condicionamiento de aire](http://es.wikipedia.org/wiki/condicionamiento_de_aire)
- http://es.wikipedia.org/wiki/Tonelada_de_refrigeraci%C3%B3n
- <http://www.edeeste.com.do/index.php/servicios/calcular-consumo/#>
- ↑ Sylte, Gudrun Urd (24 de mayo de 2010). «Den aller kaldaste havstraumen» (en norwegian). forskning.no. Consultado el 24 de mayo de 2010.
- [http://www3.geosc.psu.edu/~jfk4/Geosci_500/Discussion%20papers/Last%20week/Knauth %202005.pdf](http://www3.geosc.psu.edu/~jfk4/Geosci_500/Discussion%20papers/Last%20week/Knauth%202005.pdf)

- Ir a↑ Colección científica de Time Life. El Agua. Luna B. Leopold, Kenneth, S. Davis. Ed. Lito Offset Latina S.A. México.
- http://es.wikipedia.org/wiki/Agua_de_mar
- http://es.wikipedia.org/wiki/Ciclo_de_Carnot
- http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_industrial/tiposdecalderasindustriales/
- http://www.cec.uchile.cl/~roroman/cap_08/cic-vapor.html
- http://es.wikipedia.org/wiki/Proceso_isentr%C3%B3pico
- <http://www.youtube.com/watch?v=um2U0GQhAo>
- Apuntes de Química Mineral Vol. 1 Autores J. Badenas, A. Dols
- http://www.ehowenespanol.com/especificaciones-del-refrigerante-r134a-lista_77779/
- http://www.energy.siemens.com/hq/pool/hq/power-generation/steam-turbines/Industrial_Steam_Turbines_sp.pdf
- <http://www.triveniturbines.com/es/productos/configuration/tipos-de-turbinas/criterio-de-seleccion.html>
- <http://thermo.sdsu.edu/testhome/Test/solve/basics/tables/tablesPC/superAmmonia-Eng.html>
- http://sky.kiau.ac.ir/~mostafa.khosravy/myCourses/Thermodynamics_I_files/Appendix%202.pdf
- http://sky.kiau.ac.ir/~mostafa.khosravy/myCourses/Thermodynamics_I_files/Appendix%201.pdf