

# Evaluación del desempeño energético de los sistemas de climatización artificial en la República Dominicana:

Por José Luis Moreno San Juan

**Resumen:** El presente estudio busca definir el comportamiento real en términos consumo de energía de los equipos para climatización artificial de agua helada en la República Dominicana. Las certificaciones de los fabricantes simulan condiciones de operación para climas templados donde existen cuatro estaciones y en el caso de los países tropicales, como la República Dominicana, existen solo dos “estaciones”, una que podemos definir como un largo verano y la otra para cuatro meses de menor temperatura ambiental (diciembre/ marzo). Esto origina una operación más cercana a la máxima capacidad del equipo por más tiempo, donde la eficiencia es menor, pero también la temperatura es mayor durante todo el año en el Trópico. En el estudio se determinó el consumo de energía real de los equipos a nivel local y la desviación del rendimiento respecto a las certificaciones originales de los fabricantes, con el propósito de que esto sirvan como guía confiable al momento estimar los ahorros al reemplazar los equipos existentes, por equipos nuevos de mayor eficiencia.

**Palabras claves:** sistemas, agua helada, transferencia, calor, temperatura, eficiencia, rendimiento energético, climatización, ahorro, comparación.

## 1. Introducción:

La climatización artificial consiste en mantener el aire en el espacio de un local cerrado a condiciones de temperatura y humedad tales que produzcan sensación de bienestar en los ocupantes de dicho local. Estas condiciones son: temperatura entre 22 a 25 °C y humedad relativa entre 50 y 60%.

Para lograr esto se necesita que circule el aire y que esta circulación sea capaz de remover el calor de los objetos que generen calor en el interior, así como el proveniente de paredes y techo y de los propios ocupantes y de que una vez removido, este calor pueda ser transferido al aire circulando en el exterior de dicho local, o aire atmosférico.

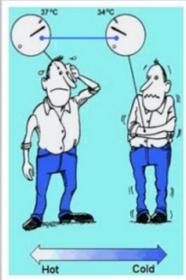
Esta es la función que realiza el acondicionador de aire o climatizador, en cualquiera de sus versiones, mediante un proceso que describiremos de manera general más adelante, pero antes veamos en que consiste el bienestar o confort térmico.(1)

### ¿Qué es el CONFORT TÉRMICO?

La norma ISO 7730 define el confort térmico como:  
**“Esa condición de la mente en la que se expresa la satisfacción con el ambiente térmico”.**

ASHRAE lo define el como:  
**“ Es un estado del espíritu que refleja la satisfacción con el ambiente térmico que rodea a la persona”.**

ASHRAE señala que para analizar el confort térmico hay que tomar en cuenta no solamente la temperatura y la humedad, sino también el movimiento del aire, la temperatura radiante, la actividad desarrollada e incluso el tipo de vestimenta.



### De qué parámetros o variables depende el confort?

**Variabilidad temporal y espacial**

Parametros	Ambientales	Temperatura del aire Humedad Relativa Velocidad del aire Temperatura radiante
Factores Usuario	Personales	Sexo Edad Peso (constitución corporal) Actividad Tasa de metabolismo Basal Muscular Vestimenta Estado de salud Historial Térmico inmediato mediato Tiempo de permanencia
Factores	Socioculturales	Expectativas de confort
Factores	Arquitectónicos	Adaptabilidad del espacio Contacto visual con el exterior

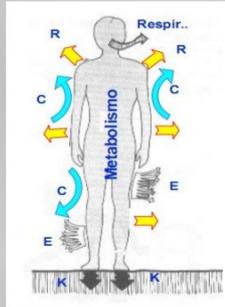
Fuente: ASHRAE HANDBOOK, Fundamentos, 2010

Para poder lograr mantener el aire del local que queremos climatizar artificialmente en las condiciones de confort, el acondicionador de aire o climatizador toma aire del interior del local pasándolo por tubos que están a baja temperatura por medio de un líquido que a su vez se enfría por un proceso de cíclico donde el calor se disipa al aire exterior o atmosférico por medio del condensador. Parte del aire se devuelve a una temperatura menor y parte sale expulsada por el panel trasero del aparato para renovar el aire y cumplir con la normativa de aire fresco, el termómetro esta en el panel frontal para sensar la temperatura a la que esta el ambiente dentro del local, y así poder regular la operación del equipo y que tanto debe trabajar el mismo para mantener las condiciones de bienestar en el aire del interior del local o espacio a climatizar. Esto se logra mediante el equipo de refrigeración de manera directa o indirecta enfriando agua.

## PROCESOS DE INTERCAMBIO DE CALOR

Para comprender qué condiciona el bienestar y su relación con la arquitectura debe tomarse en cuenta que el cuerpo humano produce calor y lo intercambia con el ambiente que lo rodea, esto incluye el medio natural y el medio construido. Para tal efecto existen procesos exógenos y endógenos que propician dicho intercambio de calor.

Los mecanismos exógenos son la **convección**, la **conducción** y la **radiación**. Y los de carácter endógeno son la **evaporación** (en sus dos formas: la respiración y la sudoración), y el **metabolismo**.



## ECUACIÓN DEL BALANCE TÉRMICO HUMANO

De lo anterior, se concluye que el **Balace Térmico** entre el cuerpo humano y su entorno puede expresarse en la siguiente forma:

$$M \pm C_a \pm C_v \pm R - E = 0$$

Donde:

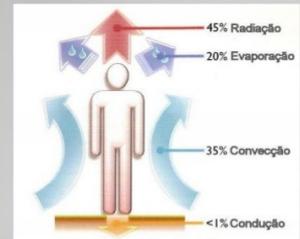
M es el calor que por unidad de tiempo produce el metabolismo humano.

$C_a$  Calor que gana o pierde por Conducción.

$C_v$  Calor que gana o pierde por Convección.

R Calor que gana o pierde por Radiación.

E Calor que siempre se pierde por Evaporación.



Fuente: ASHRAE HANDBOOK, Fundamentos, 2010

Componentes esenciales de un equipo de refrigeración, o de climatización, directa son: evaporador; condensador; abanicos; compresor; válvula de expansión o capilar, termostato y liquido enfriador o refrigerante. Los sistemas indirectos poseen intercambiadores de calor para enfriar agua y usar esta como medio de enfriamiento del aire en los climatizadores que reemplazan los evaporadores de los sistemas de expansión directa. Estos sistemas suelen ser los llamados de agua helada, e incorporan bombas primarias y secundarias, tuberías, y sistemas de agua para enfriar el condensador, más bombas y tuberías y torres de enfriamiento.(6)(7)

La refrigeración es el proceso por el que se reduce la temperatura de un espacio determinado y se mantiene esta temperatura baja con el fin de enfriar alimentos, conservar determinadas sustancias o conseguir un ambiente agradable, y se realiza mediante un equipo de refrigeración.

El almacenamiento refrigerado de alimentos perecederos, pieles, productos farmacéuticos y otros se conoce como almacenamiento en frío. La refrigeración evita el crecimiento de bacterias e impide algunas reacciones químicas no deseadas que pueden tener lugar a temperatura ambiente.

El uso de hielo de origen natural o artificial como refrigerante estaba muy extendido hasta poco antes de la I Guerra Mundial, cuando aparecieron los refrigeradores mecánicos y eléctricos. La eficacia del hielo como refrigerante es debida a que tiene una temperatura de fusión de 0 °C y para fundirse tiene que absorber una cantidad de calor equivalente a 333,1 kJ/kg. La presencia de una sal en el hielo reduce en varios grados el punto de fusión del mismo. Los alimentos que se mantienen a esta temperatura o ligeramente por encima de ella pueden conservarse durante más tiempo. El dióxido de carbono sólido, conocido como hielo seco o nieve carbónica, también se usa como refrigerante. Estas son las formas de refrigeración iniciales.(1)

Veamos ahora algunos conceptos y principios básicos importantes para comprender la importancia de la temperatura atmosférica en el funcionamiento y eficiencia de los equipos de refrigeración, esto antes de entrar en las descripción de los ciclos de refrigeración, y los sistemas de agua helada.

La Termodinámica es una rama de la ciencia que trata sobre la acción mecánica del calor. Hay ciertos principios fundamentales de la naturaleza, llamados leyes termodinámica, que rigen nuestra existencia aquí en la Tierra, varios de los cuales son básicos para el estudio de la refrigeración. La primera y la más importante de estas leyes postula: La energía no puede ser creada ni destruida, sólo puede transformarse de un tipo de energía en otro.

La temperatura es la escala usada para medir la intensidad del calor y es el indicador que determina la dirección en que se moverá la energía de calor. También puede definirse como el grado de calor sensible que tiene un cuerpo en comparación con otro. En algunos países, la temperatura se mide en grados Fahrenheit, pero en nuestro país, y generalmente en el resto del mundo, se usa la escala de grados Centígrados, algunas veces llamada Celsius. Ambas escalas tienen dos puntos básicos en común: el punto de congelación y el de ebullición del agua al nivel del mar. Al nivel del mar, el agua se congela a 0°C o a 32°F y hierve a 100°C o a 212°F. (1)

El calor es una forma de energía. Calor es frecuentemente definido como energía en tránsito, porque nunca se mantiene estática, ya que siempre está transmitiéndose de los cuerpos cálidos a los cuerpos fríos. La Transferencia de Calor es un proceso por el cual el calor como forma de energía siempre va del cuerpo más cálido al cuerpo más frío. El grado de transmisión es directamente proporcional a la diferencia de temperatura entre ambos cuerpos. Esto define la segunda ley de la Termodinámica.

El calor puede transferirse en tres diferentes formas: Radiación, Conducción y Convección. Radiación es la transmisión de calor por ondas similares a las ondas de luz y a las ondas de radio; un ejemplo de radiación es la transmisión de energía solar a la tierra.

Una persona puede sentir el impacto de las ondas de calor, moviéndose de la sombra a la luz del Sol, aun cuando la temperatura del aire a su alrededor sea idéntica en ambos lugares. Hay poca radiación a bajas temperaturas, también cuando la diferencia de temperaturas entre los cuerpos es pequeña, por lo tanto, la radiación tiene poca importancia en el proceso de refrigeración. Sin embargo, la radiación al espacio, o al de un producto refrigerado por agentes exteriores, particularmente el Sol, puede ser un factor importante en la carga de refrigeración.

Conducción es el flujo de calor a través de una sustancia. Para que haya transmisión de calor entre dos cuerpos en esta forma, se requiere contacto físico real. La Conducción es una forma de transmisión de calor sumamente eficiente. Cualquier persona que ha tocado una pieza de metal caliente puede atestiguarlo.

Convección es el flujo de calor por medio de un fluido, que puede ser un gas o un líquido, generalmente agua o aire. El aire puede ser calentado en un horno y después descargado en el cuarto donde se encuentran los objetos que deben ser calentados por convección.

La aplicación típica de refrigeración es una combinación de los tres procesos citados anteriormente. La transmisión de calor no puede tener lugar sin que exista una diferencia de temperatura. Para los fines de la evaluación se presenta un balance energético de un ciclo de refrigeración destacando la influencia de la temperatura atmosférica en la eficiencia o rendimiento energético de los equipos, haciendo énfasis en los sistemas de agua helada.

## **2. Métodos y resultados:**

### **Preguntas de investigación:**

1. Las certificaciones de los equipos de climatización se corresponden con nuestra la realidad?
2. Se puede estructurar una certificación local?
- 3.Cuál es el consumo de energía real de los equipos ?

### **Hipótesis:**

1. Se puede formular una certificación de rendimiento para la República Dominicana.
2. Es posible que se reconozca a nivel regional.

### **Métodos:**

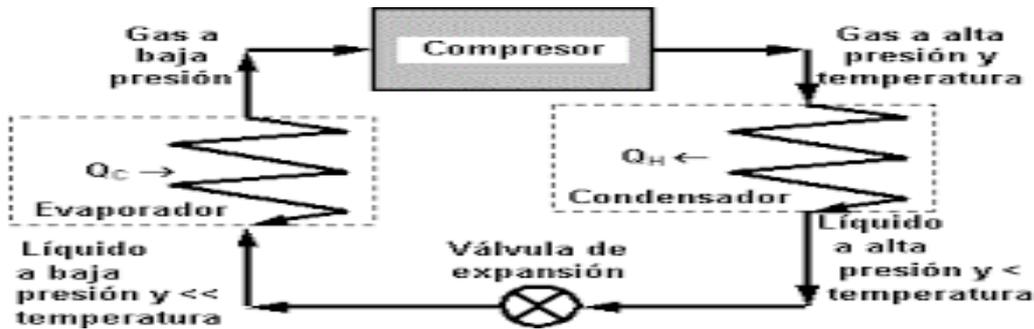
1. Análisis de la normativa existente para establecer el rendimiento de los equipos de refrigeración para climatización artificial.
2. Análisis inductivo comparativo con las certificaciones de otros países.
3. Análisis de estudios realizados en el Instituto de Energía de la UASD sobre el tema.
4. Estudio de un caso.
5. Análisis de datos y conclusiones de la modelación.
6. Pruebas de las hipótesis y conclusiones.

### **Resultados:**

1. Las certificaciones actuales de los fabricantes no se corresponden con el rendimiento observado en los equipos instalados en República Dominicana.
2. Formular una mejor certificación que tome en cuenta las condiciones climáticas de la República Dominicana.
3. Obtener un modelo con las experiencias locales sobre el consumo de energía equipos de agua helada instalados en la República Dominicana.

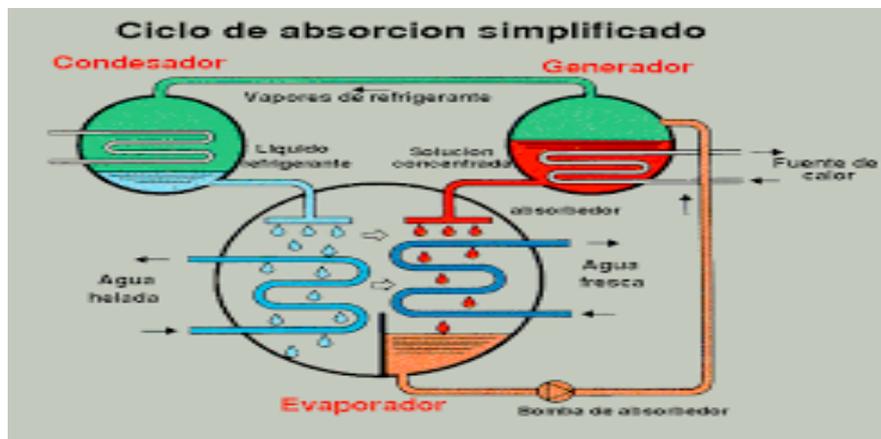
### 3. Ciclos de refrigeración:

#### Por compresión:



Fuente: Nociones de refrigeración y temas afines. JLMSJ.

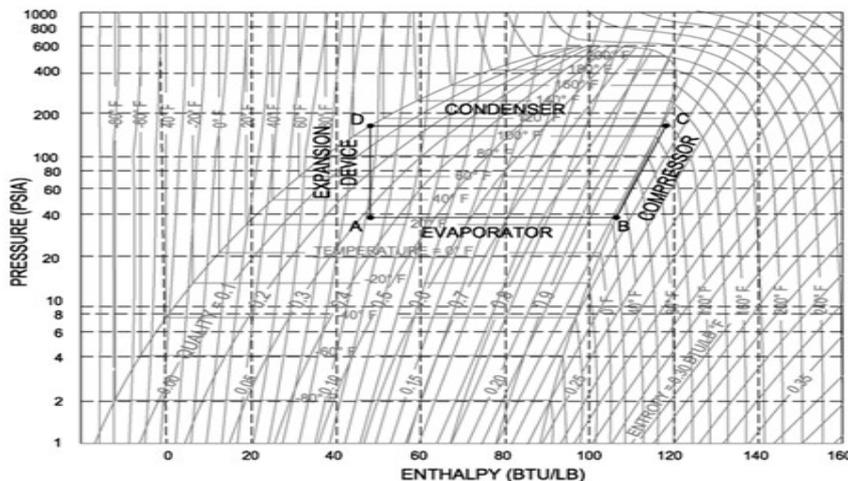
#### Por absorción:



Fuente: Publicaciones Universidad de Sevilla.2014

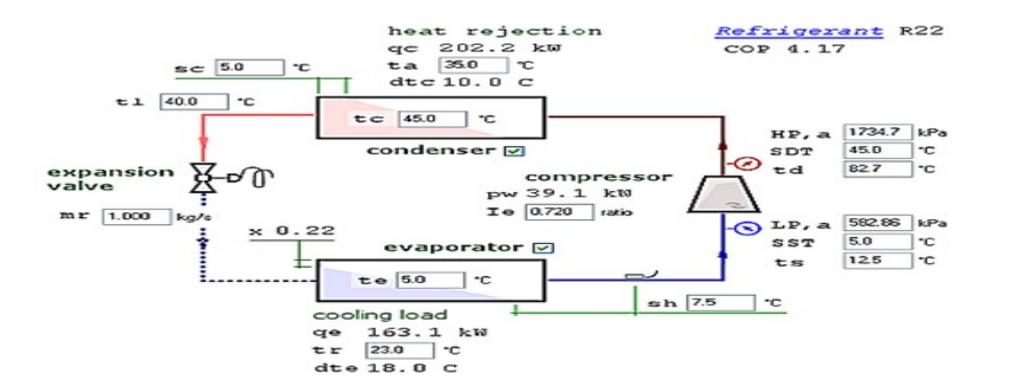
En el diagrama siguiente se representan los cambios en las propiedades termodinámicas de la sustancia refrigerante usada en el equipo en torno a su zona de saturación donde la sustancia pasa de líquido a vapor (evaporación) y de vapor a líquido (condensación).(4)

Como se puede observar la temperatura ambiente influye significativamente sobre el rendimiento del equipo, y es precisamente esto lo que debemos tomar en cuenta al momento de certificar el rendimiento energético de estos equipos en ambientes tropicales.(2)(3)(4)



Fuente: Tópicos especializados. JLMSJ

El ciclo termodinámico de refrigeración se compone de cuatro procesos. Dos procesos isotérmicos (realmente isobáricos) en el evaporador y condensador, un proceso de compresión adiabática (isentrópico) en el compresor y un proceso de expansión a entalpía constante en la válvula de expansión, placa de orificio o capilar. En un sistema de agua helada en el evaporador se enfría agua y esta se encarga de enfriar el aire; el agua se circula por tuberías, válvulas y climatizadoras o serpentines impulsados por bombas. Resulta obvio que la temperatura del aire atmosférico es determinante en la eficiencia del ciclo que lo define, mientras más baja sea mayor será esta. Un sistema de enfriamiento, o generador térmico, se muestra a continuación.



Fuente: Tópicos especializados. JLMSJ

Algunas relaciones importantes:

$COP = Q_L / W$  Adimensional; Expresando el calor extraído y el trabajo en las mismas unidades. A veces se expresa el EER (Razón Eficiencia de Energía) adimensional como en este caso, equivale al COP y se usa para distinguir "producción de frío", al igual que en lo indicado en la tabla del SEER que se refiere al Estacional para diferentes niveles de capacidad en todo el año.

$EER = Q_L / W$  en BTU/Wh; expresando el calor extraído en BTU y el trabajo en Wh  
 $Re = P / FQ$  en kW/Tonr; expresando el calor extraído en Tonr y el trabajo en kW

El balance de energía y rendimiento se determina así:

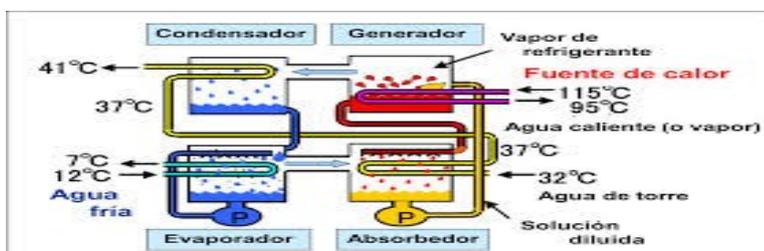
$$W_p = Q_h - Q_l = 202.2 - 163.1 = 39.1 \text{ kW (1ra. Ley de la termodinámica)}$$

$$Q_h = Q_l + W_p = 163.1 + 39.1 = 202.2 \text{ kW}$$

$$COP = Q_l / W_p = 163.1 / 39.1 = 4.171 \text{ (coeficiente de comportamiento, 2da. Ley)}$$

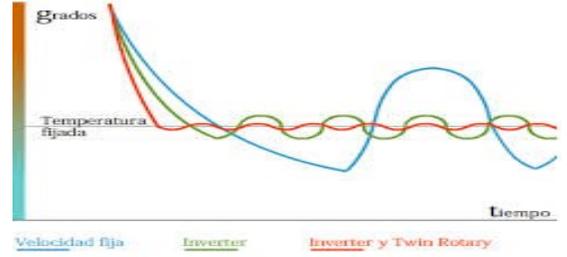
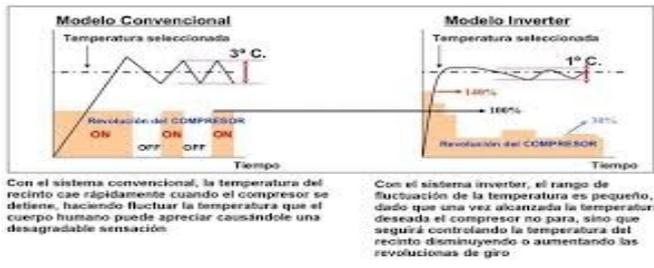
Este COP equivale a un rendimiento de 0.8432 kW/Tonr, o a un EER de 14.23 BTU/Wh

**Las características de un sistema de absorción típico se presenta a continuación:**



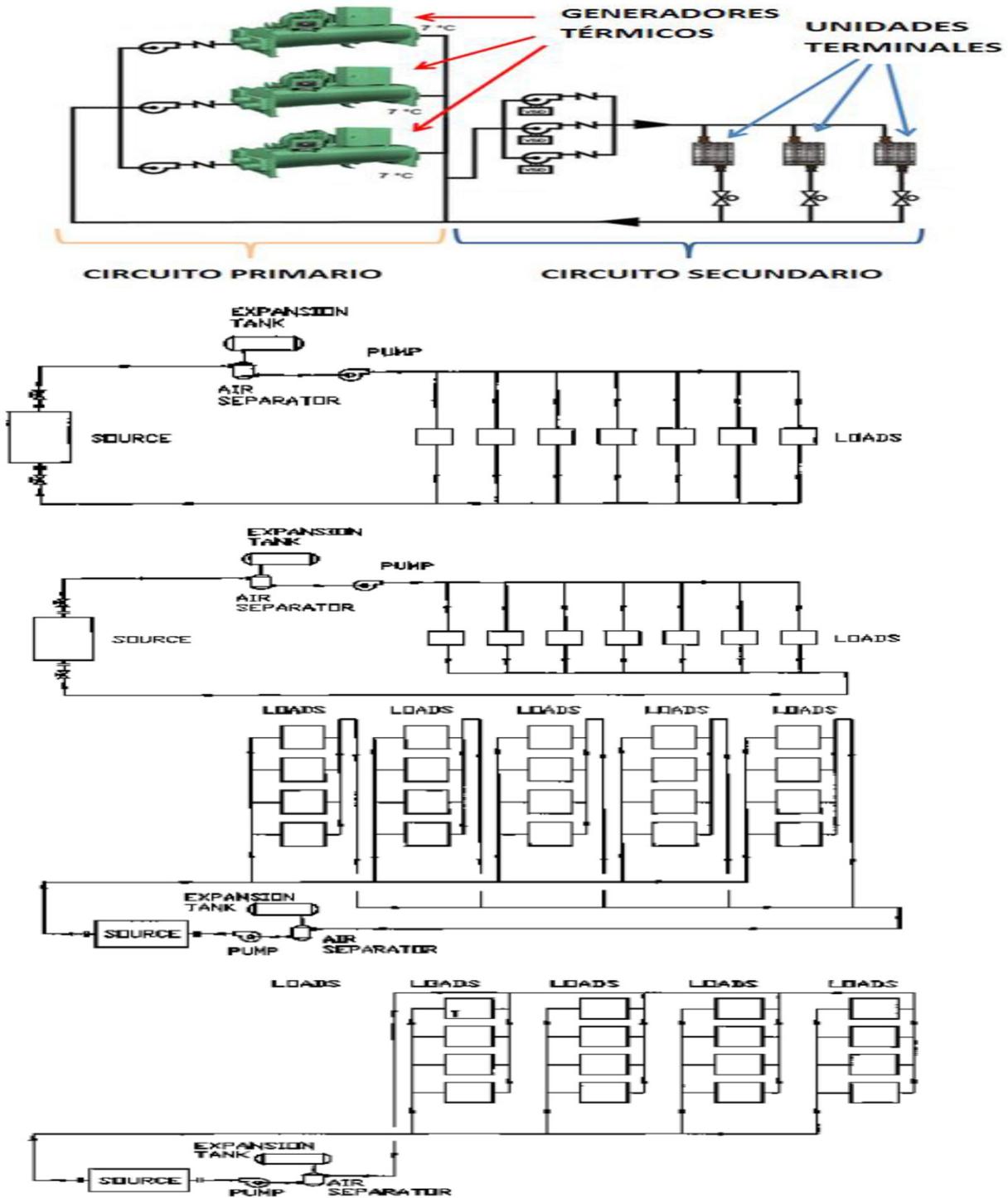
Fuente: Publicaciones Universidad de Sevilla.2014

Los sistemas actuales usan variadores de velocidad por frecuencia para ajustar su capacidad a la demanda de la carga térmica a la que se conecta. En los sistemas de agua helada el variador de velocidad posee un enfriamiento por agua que proviene de la que se usa para enfriar el condensador.



Fuente: Redes de control, cap 8. España

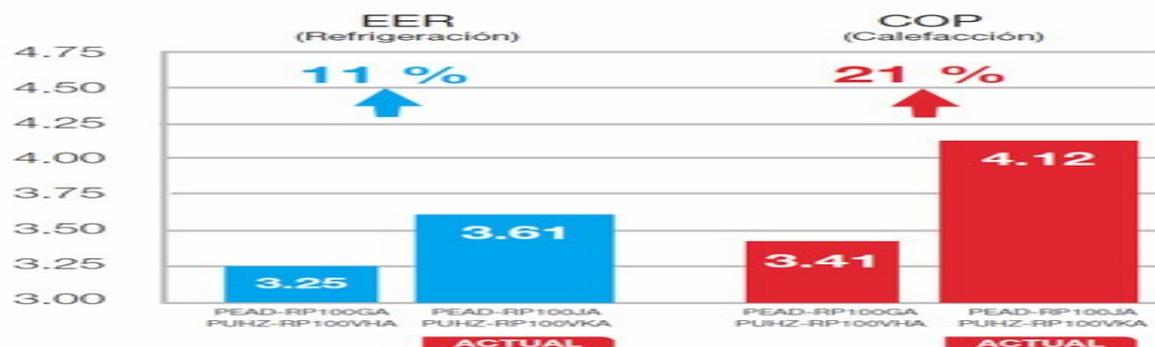
#### 4. Sistemas de agua helada (o Chillers), arreglos típicos:



Fuente: ASHRAE HANDBOOK HVAC Applications 2013.

## 5. Mejoría del rendimiento energético relativo en nuevos equipos:

El código internacional de rendimiento para refrigeración (EER) y calefacción (COP) en la versión española se muestra a continuación. Esta mejora del rendimiento es la que motiva el interés por los reemplazos de equipos viejos por nuevos previa evaluación económica.



Fuente: Normativa española

Pero debe tenerse mucho cuidado con la interpretación de la clasificación de los equipos pues en la República Dominicana donde las condiciones ambientales son muy diferentes a las de Estados Unidos y Europa y por lo tanto los rendimientos reales de los equipos son muy diferentes.

SEER	
A+++	SEER $\geq$ 8,50
A++	6,10 $\leq$ SEER < 8,50
A+	5,60 $\leq$ SEER < 6,10
A	5,10 $\leq$ SEER < 5,60
B	4,60 $\leq$ SEER < 5,10
C	4,10 $\leq$ SEER < 4,60
D	3,60 $\leq$ SEER < 4,10
E	3,10 $\leq$ SEER < 3,60
F	2,60 $\leq$ SEER < 3,10
G	SEER < 2,60

Fuente: Normativa española.

El efecto de de las condiciones ambientales son diferentes en cada caso. Es muy diferente en un país con 4 estaciones (clima templado) que uno de la zona tropical como la República Dominicana. A continuación se presentan los supuestos de porcentaje del tiempo de uso de los equipos a diferentes capacidades y las temperaturas ambientales correspondientes a la condición de operación. En esto radica las diferencias en los rendimientos reales al usarlos en el trópico.

1. En el caso de los Estados Unidos se usa el IPLV:

Tiempo de uso %	Capacidad %	Temperatura °C
1	100	29.4
42	75	23.9
45	50	19.3
12	25	18.0

2. En el caso de España: ESEER

3	100	30.0
33	75	26.0
41	50	22.0
23	25	18.0

3. En el caso de República Dominicana: DOEER\* (propuesta)

16	100	31.0
32	75	28.0
45	50	26.0
7	25	22.0

La gráfica siguiente muestra la variación de temperatura del aire diaria en República Dominicana.



Fuente: Tópicos especializados. JLMSJ

Evaluando para fines de estudio el caso específico de un Chiller enfriado con agua de marca Carrier, instalado en la región este de la República Dominicana, cuyas características y condiciones de operación mostramos en las dos tablas siguientes, valoraremos los rendimientos reales comparándolos con los indicados en la certificación de la AHRI (Asociación de Ingenieros en Refrigeración Aire Acondicionado y Ventilación), y que se definen en las últimas dos columnas de la primera tabla.

30HXC WATER-COOLED CHILLER ARI RATINGS (60 Hz ONLY)

UNIT SIZE 30HXC	CAPACITY		INPUT POWER (kW)	COOLER FLOW		COOLER PRESSURE DROP		CONDENSER FLOW		CONDENSER PRESSURE DROP		FULL-LOAD EFFICIENCY (kW/Ton)	IPLV† (kW/Ton)
	Tons	Output kW		GPM	L/s	Ft of Water	kPa	GPM	L/S	Ft of Water	kPa		
076	75.4	265.2	53.7	181.0	11.4	14.5	43.2	226.2	14.3	8.9	26.6	0.712	0.512
086	83.1	292.3	60.4	199.4	12.6	17.2	51.4	249.3	15.7	10.7	31.8	0.727	0.523
096	94.0	330.5	67.0	225.5	14.2	17.0	50.7	282.0	17.8	11.0	32.7	0.713	0.513
106	104.3	366.8	75.3	250.3	15.4	15.4	46.0	312.9	19.7	13.3	39.6	0.722	0.521
116	113.5	399.3	83.2	272.5	17.2	13.3	39.8	340.6	21.5	17.0	50.6	0.733	0.509
126	122.9	432.1	92.2	295.2	18.6	15.4	45.9	369.0	23.3	19.6	58.5	0.751	0.530
136	136.5	479.9	97.0	327.5	20.7	14.6	43.7	409.4	25.8	18.5	55.1	0.711	0.541
146	145.9	513.2	105.1	350.2	22.1	16.5	49.3	437.8	27.6	20.9	62.4	0.720	0.533
161	156.5	550.6	111.7	375.5	23.7	13.7	40.9	469.6	29.6	21.3	63.6	0.714	0.520
171	165.9	585.3	118.2	398.1	25.1	15.2	45.4	497.6	31.4	17.2	51.4	0.712	0.538
186	177.2	623.1	126.7	426.2	26.8	13.9	41.5	531.6	33.5	19.5	58.1	0.715	0.562
206	211.5	744.0	146.4	507.7	32.0	14.7	43.9	634.7	40.0	20.9	62.4	0.692	0.510
246	248.6	874.1	172.4	596.5	37.6	16.2	48.3	745.7	47.0	21.9	65.2	0.693	0.522
261	257.2	904.6	180.5	617.3	38.9	17.2	51.4	771.6	48.7	23.3	69.5	0.702	0.523
271	267.4	940.3	189.5	641.7	40.5	18.5	55.1	802.1	50.6	25.1	74.7	0.709	0.525

LEGEND  
 IPLV — Integrated Part-Load Value  
 \*Air Conditioning, Heating, and Refrigeration Institute (U.S.A.).  
 †IPLV shown is the lower of Sequence A or Sequence B unloading.

NOTES:  
 1. Rated (60 Hz only) in accordance with AHRI Standard 550/590 at standard rating conditions.  
 2. Standard rating conditions are as follows:  
 Cooler Conditions:  
 Leaving Water Temperature: 44 F (6.7 C)  
 Flow: 2.4 gpm per ton (0.043 L/s per kW)  
 Condenser Conditions:  
 Entering Water temperature: 85 F (29.4 C)  
 Flow: 3.0 gpm per ton (0.054 L/s per kW)  
 Fouling Factor (Cooler): 0.00010 hr x sq ft x F per Btuh (0.000018 m<sup>2</sup> x K per W)  
 Fouling Factor (Condenser): 0.00025 hr x sq ft x F per Btuh (0.000044 m<sup>2</sup> x K per W)



60 Hz only

Fuente: Catalogo Carrier (fabricante)

La estimación del comportamiento del equipo con la temperatura se puede realizar a partir de los datos de ingeniería que suelen dar los fabricantes como los mostrados en la segunda tabla. Según el fabricante para este equipo tiene una capacidad de 261.5 Tonr a 85° F debemos esperar el comportamiento como el que se muestra en dicha tabla. Como se observa la capacidad varia con la temperatura del aire atmosférico, ya sea de manera directa como en los equipos con condensadores enfriados por aire o indirecta con condensadores enfriados por agua y que usan además torres de enfriamiento. Partiendo de esta información podemos determinar la curva del comportamiento del equipo para las condiciones en que operará este equipo en su lugar de uso, en la región este de la República Dominicana.(5)(6)

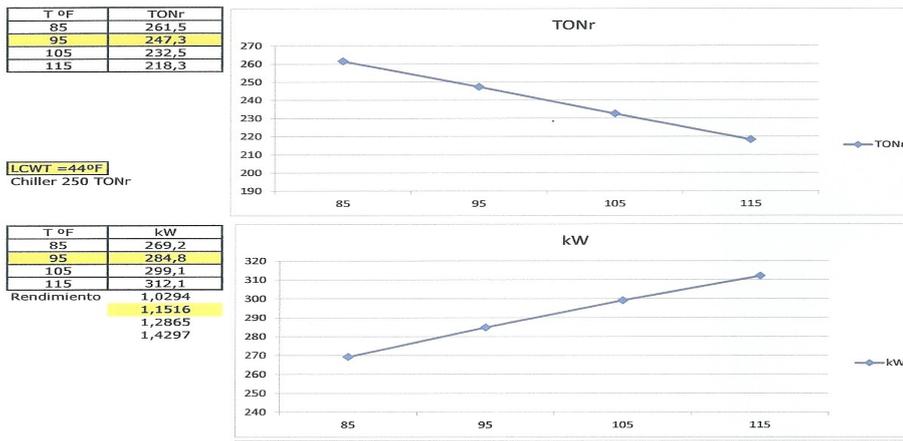
De la tabla siguiente, también suministrada por el fabricante, podemos inferir el comportamiento del equipo en términos de rendimiento para diferentes temperaturas del aire atmosférico, así las temperaturas de enfriamiento del condensador definen la capacidad del equipo y su rendimiento o eficiencia. De ella sacamos la curva de operación del equipo que se muestra más adelante.

COOLING CAPACITIES -- ENGLISH

LCWT	UNIT SIZE	CONDENSER ENTERING AIR TEMPERATURE (F)														
		85.0			95.0			105.0			115.0			125.0		
		Cap.	Input kW	Cooler Flow Rate	Cap.	Input kW	Cooler Flow Rate	Cap.	Input kW	Cooler Flow Rate	Cap.	Input kW	Cooler Flow Rate	Cap.	Input kW	Cooler Flow Rate
40.0	225	223.1	242.5	534.0	210.4	254.9	503.6	197.5	266.0	472.7	184.4	275.7	441.3	171.1	284.2	408.7
	250	243.2	258.9	582.2	229.6	273.3	548.6	215.8	286.4	516.5	202.0	298.3	483.5	188.0	308.8	450.1
	280	273.1	296.0	653.7	258.4	311.2	618.7	243.9	325.4	583.7	229.1	336.5	548.5	214.5	350.6	513.5
42.0	225	231.3	247.7	554.0	218.3	260.6	522.9	205.1	272.2	491.4	191.8	282.6	459.4	178.2	291.5	427.0
	250	252.3	264.0	604.5	238.3	279.0	571.0	224.3	292.8	537.2	210.0	305.1	503.0	195.7	316.2	468.8
	280	283.0	302.1	678.0	267.9	317.9	641.8	253.0	332.7	606.1	238.0	346.3	570.1	222.8	358.9	533.7
44.0	225	239.8	253.0	574.8	226.5	266.4	542.9	212.9	278.5	510.4	199.3	289.4	477.8	185.4	298.9	444.3
	250	261.5	269.2	626.9	247.3	284.8	592.9	232.8	299.1	558.2	218.3	312.1	523.3	203.5	323.8	487.9
	280	293.0	308.1	702.3	277.7	324.6	665.8	262.4	340.0	629.0	246.9	354.2	591.9	231.4	367.4	554.8
46.0	225	248.4	258.3	596.8	234.8	272.3	563.2	220.9	284.9	529.8	208.9	296.4	496.4	192.8	306.5	462.5
	250	271.1	274.4	650.3	256.3	290.6	614.9	241.7	305.6	579.6	226.7	319.1	543.8	211.5	331.3	507.3
	280	303.2	314.3	727.2	287.6	331.4	689.8	272.0	347.4	652.3	256.1	362.2	614.3	240.1	375.9	576.0
48.0	225	257.1	263.7	617.1	243.2	276.2	583.8	229.0	291.4	548.7	214.7	303.4	515.4	200.3	314.0	480.6
	250	280.8	279.7	673.8	265.8	296.5	637.9	250.5	312.0	601.2	235.3	326.2	564.8	219.8	338.1	527.6
	280	313.6	320.6	752.7	297.6	336.3	714.2	281.5	354.8	675.7	265.5	370.3	637.1	249.1	384.8	597.7
50.0	225	266.0	269.2	638.7	251.8	284.2	604.7	237.4	298.0	570.1	222.7	310.4	534.8	207.9	321.1	499.2
	250	290.5	285.0	697.5	275.3	302.4	661.0	259.8	318.6	623.8	244.0	333.3	595.9	228.3	346.8	548.1
	280	324.5	327.0	779.1	307.9	345.2	739.2	291.4	362.3	699.6	274.7	378.3	659.7	256.2	393.3	620.0
55.0	225	288.8	283.3	694.2	273.9	299.6	658.4	258.8	314.7	622.0	243.5	328.5	585.1	—	—	—
	250	315.9	298.6	759.3	299.9	317.5	720.7	282.4	334.5	678.9	264.7	349.8	636.2	246.9	363.8	593.5
	280	352.0	343.2	846.1	334.6	352.9	804.2	317.1	381.5	762.1	299.3	388.9	719.3	280.4	414.3	673.9
60.0	225	307.8	294.4	740.4	288.1	309.5	695.4	270.3	323.1	650.2	251.5	325.1	605.0	—	—	—
	250	327.4	304.1	787.6	308.1	321.9	741.1	288.7	338.2	694.5	269.4	352.9	648.0	250.0	365.9	601.5
	280	371.6	353.8	883.9	350.2	372.4	842.4	328.9	369.5	791.2	307.8	405.1	740.4	286.6	419.4	688.5

Fuente: Manual Carrier (fabricante)

Esta es la curva de operación de este equipo, de acuerdo con la tabla anterior.



Fuente: Propia. JLMSJ

Evaluando la capacidad y potencia eléctrica consumida cuando la temperatura del agua saliendo del evaporador es de 6,667 °C, tomando en cuenta la variación de la temperatura diaria del aire atmosférico de la República Dominicana con una temperatura de referencia máxima de 33.3 °C, se comprueban estos parámetros de operación, de los cuales determinamos el DOEER\*.

Tiempo de uso %	Capacidad %	Temperatura °C (°F)	Rendimiento ( kW/Tonr)
16	100	33.3 (92)	1.1019*
32	75	28.0 (82.4)	0.9951
45	50	26.0 (78.8)	0.9241
7	25	22.0 (71.6)	0.8700

\* valor ponderado por temperatura y capacidad nominal.

De este modo podemos calcular el DOEER\* con el siguiente resultado:

$$\text{DOEER}^* = 0.16 (1.1019) + 0.32 (0.9951) + 0.45 (0.9241) + 0.07 (0.8700) = 0.9714 \text{ kW/Tonr}$$

De lo anterior se obtiene el rendimiento a plena capacidad el cual es de 1.1019 kW/Tonr a una temperatura de 33.3 °C y en promedio tendría un rendimiento de 0.9714 kW/Tonr, con una disminución del consumo de 11.84% respecto a plena carga.

Estos valores son muy diferentes a los supuestos bajo el estándar de la AHRI, que parte de una temperatura máxima de 29.4 °C y una variación como puede observarse a continuación.

Tiempo de uso %	Capacidad %	Temperatura °C	Rendimiento ( kW/Tonr)
1	100	29.4	0.702
42	75	23.9	0.567
45	50	19.3	0.498
12	25	18.0	0.462

$$\text{IPLV} = 0.01(0.702) + 0.42(0.582) + 0.45(0.480) + 0.12(0.462) = 0.523 \text{ kW/Tonr}$$

Con un rendimiento de 0.702 kW/Tonr a plena capacidad para 29.4 °C y a carga parcial 0.523 kW/Tonr, con una disminución del consumo de 25.5 % respecto a plena capacidad.

## 6. Conclusiones:

Existe una diferencia muy significativa entre la evaluación del rendimiento de un equipo bajo un esquema operativo de un país con cuatro estaciones a uno tropical con dos. Por eso el conocer la realidad operativa de los equipos de refrigeración es muy importante para tomar decisiones adecuadas sobre los reemplazos para el ahorro de energía, evaluado correctamente su compartimiento para las condiciones ambientales del país donde se usan, evitando con esto falsas expectativas. Sin embargo para comparar la mejoría potencial relativa en el consumo de energía un equipo con uno nuevo de reemplazo se pueden usar las certificadas por el fabricante, pero no para pronosticar el consumo que se tendrá con el reemplazo.

Por tal razón nunca se cumplen las expectativas sobre el rendimiento esperado de acuerdo a lo señalado por el fabricante al hacer mediciones luego de su puesta en operación, al hacer reemplazos, y las inversiones no se recuperan en los tiempos previstos en las ofertas y esto trae múltiples discusiones. El motivo de estas discrepancias, como demostramos, radica en el uso de parámetros de operación ideales que no se corresponden con los que se tienen en la República Dominicana. También cabe destacar que es importante evaluar el comportamiento a capacidades parciales, pues si está bien seleccionado el equipo operará más a cargas parciales que a plena carga. Si la capacidad del equipo es insuficiente operará casi siempre a capacidad máxima y nunca se podrá conseguir los rendimientos prometidos por el ofertante. La ventaja que tenemos en el Trópico es que no necesitamos consumir energía para calefacción.

Las desviaciones por exceso de consumo de energía encontradas en este caso ascendieron a un 56.96% para plena capacidad y a un 85.74% a capacidad parcial si se compara con el esperado de lo indicado en la certificación de la AHRI. Hemos deducido el DOEER\* propuesto de la operación real, como un mejor pronóstico de la operación del equipo. Esto dependerá también de la capacidad del equipo respecto a la carga térmica conectada. Si la capacidad del equipo es insuficiente respecto a la carga conectada el consumo de energía puede ser aún mayor, ya que el equipo operará más tiempo en la zona de plena capacidad, donde el consumo de energía es mayor, sin poder modular la capacidad a la baja, donde el consumo de energía es menor.

## 7. Bibliografía:

- 1.- ASHRAE HANDBOOK, Fundamentos, 2010.
- 2.- Manual Técnico de Aire Acondicionado y Refrigeración, José Luis Moreno, Editora de la UASD, 1993.
- 3.- Publicaciones del departamento de ingeniería energética y mecánica de fluidos. Universidad de Sevilla, España, 2014.
- 4.- Tablas Termodinámicas: Método y procedimientos, José Luis Moreno, editora Taller, Santo Domingo, 1997.
- 5.- Varias conferencias sobre estos temas impartidas por José Luis Moreno entre 1996 y 2012.
6. Tópicos Especializados sobre Refrigeración y Climatización Artificial, José Luis Moreno, Editora de Colores, 1999.
7. Nociones de Refrigeración y Temas Afines, José Luis Moreno, editora Taller, 1996.
8. Cap.8 Diseño de redes hidráulicas en climatización. Pdf. España. Google.