

**UCLV**  
Universidad Central  
"Marta Abreu" de Las Villas



**FIMI**  
Facultad de  
Ingeniería Mecánica  
e Industrial

Centro de Investigaciones de Soldadura

## **TRABAJO DE DIPLOMA**

PROPUESTA DE CAMBIO DEL SISTEMA DE CLIMA CENTRALIZADO DEL  
HOTEL IBEROSTAR GRAND HOTEL TRINIDAD

Autor: Nelson Alberto Zerquera Juviel

Tutores: Dr. Jorge Luis García Jacomino  
MSc. Nancy Rodríguez Dorta

Santa Clara 2018  
Copyright©UCLV

Este documento es Propiedad Patrimonial de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, y se encuentra depositado en los fondos de la Biblioteca Universitaria “Chiqui Gómez Lubian” subordinada a la Dirección de Información Científico Técnica de la mencionada casa de altos estudios.

Se autoriza su utilización bajo la licencia siguiente:

**Atribución- No Comercial- Compartir Igual**



Para cualquier información contacte con:

Dirección de Información Científico Técnica. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Carretera a Camajuaní. Km 5½. Santa Clara. Villa Clara. Cuba. CP. 54 830

Teléfonos.: +53 01 42281503-1419

**UCLV**  
Universidad Central  
"Marta Abreu" de Las Villas



**FIMI**  
Facultad de  
Ingeniería Mecánica  
e Industrial

# PENSAMIENTO

## PENSAMIENTO

*El hombre moderno piensa que pierde el tiempo si no actúa con rapidez; sin embargo, no sabe qué hacer con el tiempo que gana.*

Erich Fromm



**UCLV**  
Universidad Central  
"Marta Abreu" de Las Villas



**FIMI**  
Facultad de  
Ingeniería Mecánica  
e Industrial

# DEDICATORIA

## DEDICATORIA

A mi mamá y mi papá, porque no bastaría una vida entera para agradecerles todo el sacrificio que han hecho por mí; a mi Quiña Carmina por ser la luz de mis días el amuleto de mi suerte.

**UCLV**  
Universidad Central  
"Marta Abreu" de Las Villas



**FIMI**  
Facultad de  
Ingeniería Mecánica  
e Industrial

# AGRADECIMIENTO

## AGRADECIMIENTOS

A mi mamá y mi papá por el sacrificio realizado para poder cursar esta universidad.

A mi Quiña Carmina por todo el amor que me ha dado.

A mi hermana Diani y mi hermano Willi por ayudarme en cada momento que necesité.

A mi niña linda por exigirme para que este trabajo se realizara.

A mi Tía Carmen por permitirme cuando pudo el acceso a bibliografías importantes.

A mi tutor Jacomino por ser ejemplar guía en este proyecto.

A mi tutora Nancy por toda su ayuda en la recopilación de bibliografía y apoyo técnico para mi futuro profesional.

A todos mis amigos y compañeros, a los que estuvieron conmigo durante todos mis años de estudios universitarios y en especial a Lázaro, Yusniel y Yasniel.

**UCLV**  
Universidad Central  
"Marta Abreu" de Las Villas



**FIMI**  
Facultad de  
Ingeniería Mecánica  
e Industrial

# RESUMEN

## RESUMEN

En este trabajo se realiza un estudio sobre el comportamiento del consumo de energía eléctrica en el sector turístico cubano, en los que se utiliza el kWh/HDO como indicador de la eficiencia. Se denota que los sistemas que consumen más energía eléctrica son: la climatización (42 %), mientras que los motores, elevadores, refrigeración y servicios de lavandería cada uno consume entre un 5 a 7 % de energía. Las variables que más influyen en el consumo son el clima, la categoría del hotel y el tipo de turismo. Se exponen los aspectos técnicos generales que caracterizan a los sistemas de clima y se enfatiza en la Tecnología *Inverter*, como una de las que se encuentra actualmente en el mercado brindando una disminución del consumo de un 30 a un 40 %. Se caracteriza al Hotel Iberostar Grand Hotel Trinidad en cuanto a su infraestructura, los puntos y puestos claves del consumo energético y el sistema de climatización. Se manifiesta que en el año 2017, con una menor ocupación aumenta el consumo per cápita, aumenta a 41,41 kWh/huesp, esto representa un 8 % respecto al año anterior. Se considera que este incremento se produce por el aumento de la temperatura media anual en Cuba, la afectación del huracán Irma y con la pérdida de eficiencia de los sistemas de climatización. Se propone un sistema VRF marca Carrier modelo Xpower 38 VT-168 HTEE de 168 kW que usa compresor Twin Rotary para surtir la sección de las 40 habitaciones y un chiller YORK modelo YMAA-260 de 255 kW con tecnología *Digital Inverter* para el resto de las instalaciones. Inversión que permite una disminución del consumo de energía eléctrica del 16,08 % con un plazo de recuperación de 2,3 años.

## ABSTRACT

In this work a study is made on the behavior of electric energy consumption in the Cuban tourist sector, in which the kWh / HDO is used as an indicator of efficiency. It is noted that the systems that consume more electricity are: air conditioning (42%), while engines, elevators, refrigeration and laundry services each consume between 5 to 7% of energy. The variables that most influence consumption are the climate, the category of the hotel and the type of tourism. The general technical aspects that characterize the climate systems are exposed and emphasis is placed on the Inverter Technology, as one of those currently on the market offering a 30 to 40% reduction in consumption. The Hotel Iberostar Grand Hotel Trinidad is characterized in terms of its infrastructure, the key points and positions of energy consumption and the air conditioning system. It is stated that in 2017, with a lower occupancy, per capita consumption increases, increasing to 41.41 kWh / guest, this represents 8% compared to the previous year. It is considered that this increase is due to the increase of the average annual temperature in Cuba, the impact of Hurricane Irma and the loss of efficiency of the air conditioning systems. A Carrier brand VRF system model Xpower 38 VT-168 HTEE of 168 kW that uses Twin Rotary compressor to supply the section of the 40 rooms and a YORK chiller model YMAA-260 of 255 kW with Digital Inverter technology for the rest of the facilities. Investment that allows a decrease in electricity consumption of 16.08% with a recovery period of 2.3 years.

**UCLV**  
Universidad Central  
"Marta Abreu" de Las Villas



**FIMI**  
Facultad de  
Ingeniería Mecánica  
e Industrial

# ÍNDICE

# ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....	4
1.1 Consumo energético en el sector hotelero cubano.....	4
1.1.1 Indicadores energéticos en los hoteles.....	4
1.1.2 Variables que influyen en el consumo de energía eléctrica de los hoteles.....	7
1.2 Generalidades de los sistemas de acondicionamiento de aire.....	8
1.2.1 Cargas Térmicas .....	9
1.2.2 Ciclo de Refrigeración.....	9
1.2.3 Clasificación de los sistemas de Aire Acondicionado.....	10
1.2.4 Caracterización de los diferentes sistemas de climatización .....	17
1.2.5 Operación a carga parcial de los sistemas de clima.....	26
1.2.6 Modos de control en equipos de climatización .....	27
1.2.7 Tecnología <i>Inverter</i> .....	28
1.3 Mantenimiento en las instalaciones hoteleras.....	29
1.3.1. Mantenimiento Productivo Total (TPM).....	29
CAPÍTULO II. CARACTERIZACIÓN DEL HOTE L IBEROSTAR GRAND HOTEL TRINIDAD.....	33
2.1. Características generales de la Instalación .....	33
2.2. Breve descripción de las instalaciones y áreas .....	34
2.3. Puntos y puestos claves del consumo energético .....	36
2.3.1. Control del consumo de energía eléctrica.....	39
2.3.2. Sistema de clima del Hotel .....	41
2.4. Sistema de mantenimiento aplicado en el hotel.....	41
CAPÍTULO III. PROPUESTA DE CAMBIOS AL SISTEMA DE CLIMA CENTRALIZADO .....	44

3.1	Propuesta de equipos de reemplazo .....	44
3.1.1	Sistema VRF.....	44
3.1.2	Equipo de agua Fría.....	48
3.2	Propuesta de sistema de mantenimiento a los equipos de clima.....	52
3.2.1	Mantenimiento al sistema VRF .....	52
3.2.2	Mantenimiento al equipo de agua Fría .....	53
3.2.3	Mantenimiento al control eléctrico de potencia .....	58
3.3	Breves consideraciones económicas .....	59
	CONCLUSIONES .....	62
	RECOMENDACIONES .....	64
	BIBLIOGRAFÍA .....	66
	ANEXOS.....	70
	Anexo I. Características del sistema VRF .....	70
	Anexo II. Características del sistema chiller de la York .....	72

**UCLV**  
Universidad Central  
"Marta Abreu" de Las Villas



**FIMI**  
Facultad de  
Ingeniería Mecánica  
e Industrial

# INTRODUCCIÓN

## INTRODUCCIÓN

Las empresas más triunfantes y de mayor prestigio en el mundo actual dan muestra con su experiencia de la necesidad de formular nuevas concepciones sobre la manera de organizar los servicios. Puede afirmarse que al día de hoy se establece un moderno ejemplo empresarial, en el cual la seguridad del trabajo y la gestión ambiental tiene un papel de mayor trascendencia que en el pasado. El uso eficiente de la energía ha adquirido un papel predominante en los últimos años, convirtiéndose en una necesidad real para cualquier empresa. Existen dos motivos principales que hacen necesario un aprovechamiento eficaz de los recursos energéticos:

- ✓ El primero de tipo económico: El aumento del precio de las fuentes usuales de energía, como el petróleo y el carbón traen como consecuencia un incremento en los costos energéticos que al incrementar su demanda hacen de estos recursos un bien limitado. De manera que los costes de la energía eléctrica adquieren cada vez un papel más importante en la contabilidad de cualquier empresa.
- ✓ El segundo de tipo medioambiental: El elevado consumo de los combustibles fósiles para generar energía provoca un alto nivel de contaminación atmosférica, mientras la sociedad demanda empresas responsables con el medioambiente. El perfil de empresa sostenible es un factor de decisión cada día más indispensable en la conciencia ciudadana.

El sector turístico se caracteriza en general por su elevado, y en ocasiones poco racional, consumo energético. Dentro de los costos de una instalación turística la electricidad representa la mayor partida y es la climatización el portador con más influencia. Para hoteles del Caribe, en particular, el consumo de climatización puede representar alrededor del 60 % o más del total del consumo de fluido eléctrico (Plasencia et al., 2016), debido a altas temperaturas. Es por ello que cualquier programa de ahorro y reducción de costos energéticos en un hotel turístico debe ser enfocado, en primer plano, hacia la eficiencia del sistema de climatización, debido a la existencia de significativos potenciales de ahorro alcanzables con nuevas tecnologías existentes en el mercado y con estrategias operacionales enfocadas al ahorro de energía.

El turismo es uno de los sectores más emprendedores y que mayor crecimiento ha experimentado en los últimos años en nuestro país. En correspondencia al volumen de empleo

de recursos humanos y ventas producidas, podemos afirmar que constituye uno de los motores significativos de nuestra economía (Cubadebate, 2016).

El presente Trabajo de Diploma se realizó en el Iberostar Grand Hotel Trinidad, situado en el centro de la ciudad de Trinidad, al sur del litoral de la costa de la provincia Sancti Espíritus, perteneciente al Grupo de Turismo MINTUR (Cubanacán). Esta instalación hotelera está categorizada como 5 estrellas de la cadena de Hoteles Iberostar, construida y diseñada para prestar servicios de alojamiento turístico a clientes nacionales e internacionales que inciden de forma eventual, para el disfrute de las bellezas de la Ciudad, condecorada como Patrimonio Mundial de la Humanidad.

El mayor consumidor en los puntos y puestos clave de esta instalación es el clima centralizado, que representa aproximadamente un 48,03 % de los gastos con tendencia a aumentar con el envejecimiento del equipamiento.

Esto permite definir el **problema** a resolver: ¿Qué equipos se pueden proponer con tecnología moderna adecuado al contexto operacional de la instalación para disminuir los elevados gastos de energía eléctrica por concepto de climatización?

Sobre la base del problema se plantea la siguiente **hipótesis**: Si se instalan equipos de climatización más eficientes adecuados al contexto operacional se conseguirá un ahorro de energía eléctrica disminuyendo los gastos fijos del hotel.

El **objetivo general** de la investigación consiste en estudiar el sistema de climatización utilizado en hotel para proponer soluciones técnicas y de mantenimiento que permitan disminuir los consumos de energía y disminuir los gastos fijos del hotel.

**Objetivos específicos:**

1. Caracterizar el sistema de climatización centralizado y estado del equipamiento para identificar las causas que afectan los elevados costos de energía eléctrica
2. Proponer equipamiento moderno para sustituir equipamiento existente, que permitan mantener o mejorar el confort de los locales climatizados con un menor consumo de energía.

**UCLV**  
Universidad Central  
"Marta Abreu" de Las Villas



**FIMI**  
Facultad de  
Ingeniería Mecánica  
e Industrial

# CAPÍTULO I

## **CAPÍTULO I. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

### **1.1 Consumo energético en el sector hotelero cubano**

El costo de la producción o prestación de servicios de un hotel puede definirse como la expresión monetaria de los recursos de todo tipo empleados en el proceso de atención a los huéspedes y usuarios de la institución (Carlos, 2015).

Las condiciones de competitividad demandan una mayor eficiencia en la operación de la instalación turística de los hoteles, donde el parámetro costo/ingreso de la instalación es el más importante. Datos de hoteles de California, Cuba y el territorio espirituario reflejan que este valor oscila entre \$ 0,70 y \$ 0,80 por dólar de ingreso (Hernández et al.). En este sentido, un componente alto y difícil de disminuir es el costo energético, (Lucarelli Lasalvia, 2011) plantean que oscila entre el 4 % al 7 % mientras que (Vásquez, 2015) expone que alcanzan valores entre el 8 % y el 16 % de los ingresos.

#### **1.1.1 Indicadores energéticos en los hoteles**

En el sector hotelero para analizar y llegar a conclusiones sobre los resultados de la gestión energética, es imprescindible realizar una profunda evaluación y análisis de indicadores energéticos tales como:

- Por ciento de gastos energéticos vs. Ingresos.
- Consumo físico de energía por metro cuadrado.
- Consumo físico de energía por habitación ocupada (kWh/HDO).

Autores como (Lucarelli Lasalvia, 2011), (Cueto Martínez, 2016), (Cabrera and Pérez), entre otros, concluyen que para un eficiente funcionamiento de un hotel, en el que se tiene en cuenta los gastos de energía, se requiere un por ciento menor al 5 % de sus costos en relación a los ingresos para cubrirlo. Las distribuciones de consumos energéticos contra ingresos fluctúan en función de la categoría y tipo de instalación hotelera en cuestión, además del servicio brindado por dicho hotel. Los fundamentos de referencia encierran todo tipo de portadores y el agua.

En Cuba, las cadenas hoteleras Horizontes, Cubanacan y Gran Caribe poseen indicadores que oscilan entre el 8 y el 16 %. Los hoteles con una infraestructura caduca en cuanto a equipamiento tecnológico y escasos niveles de comercialización poseen indicadores que pueden alcanzar el 20 %, donde los costos fijos de los módulos energéticos son muy elevados, lo que dificulta el mantenimiento de una eficaz productividad del coste total con respecto al nivel ocupacional del hotel (Zayas González, 2014).

Los costos de energía en la industria hotelera en países como México y EE. UU. en promedio se encuentra alrededor de \$16/ft<sup>2</sup>, aproximadamente \$175/m<sup>2</sup> al año. Los hoteles gastan 500 dólares por habitación al año en petróleo y electricidad. La hotelería mexicana de lujo suele pagar hasta \$4000/ ft<sup>2</sup> anual en costos energéticos (Cabrera et al., 2016). En nuestra isla, este indicador es poco utilizado y generalmente se aplica el consumo físico por habitación ocupada (Cabrera and Pérez, 2015).

En el sector hotelero, existe una tendencia mundial de expresar el índice en kilowatt hora vs habitación-día-ocupada (kWh/HDO). En Cuba lo consideran de la misma manera, no obstante, existen grandes diferencias en magnitudes.

Las marcas de calidad en el consumo de electricidad no están normadas ni legisladas en nuestro país y solo se utilizan indicadores que se han enriquecidos por las diferentes cadenas en cuento al historial de consumo desde su fundación en 1994 (González et al., 2017).

Como muestra (González et al., 2017) en la Tabla 1, no prevalece uniformidad en los datos registrados.

Tabla 1. Indicadores Energéticos utilizados por diferentes cadenas hoteleras de Cuba (González et al., 2017).

<i>Cadena Hotelera</i>	kWh/HDO	M <sup>2</sup> /HDO	Diésel L/HDO	GLP L/HDO
<i>Gran Caribe S.A</i>	De 14 a 30	De 0,8 a 1	De 0,65 a 0,7	1,9
<i>Horizontes S.A</i>	35 a 40	0,8 a 1	2,5	1,9 a 2
<i>Gaviota S.A</i>	35 a 40	0,8 a 1	2 a 3,5	1,9 a 2
<i>Cubanacán S:A</i>	30 a 60	0,8 a 1	--	1,5 a 2
<i>Islazul S.A</i>	27 a 60	0,8 a 1	2 a 2,5	1,5 a 2

Fuente: Tomado de (González et al., 2017)

La única cuestión en la que existe un acuerdo es en el caso del agua, debido a la presencia de una norma que administra su abastecimiento a los hoteles. El resto de los datos se ha establecido

sobre patrones obtenidos en instalaciones hoteleras sin la realización de un análisis cuantitativo que pruebe la veracidad de estos indicadores. Los puntos registrados suponen criterios de funcionamiento eficiente de los servicios técnicos y en la práctica estas marcas están utilizadas como parámetros fijos sin la ejecución previa de un riguroso estudio de la planta física actual de cada hotel. En la bibliografía examinada y estudios verificados se vinculan por orden de relevancia la siguiente distribución de costos energéticos: electricidad (65 a 75 %), diésel (de 10 a 15 %), gas licuado (8 a 12 %) y otros hasta un 5 % del costo total. Estos registros dan muestra que el área de mayor incidencia a aplicar mejoras y reducción de costos por energía es la electricidad.

Los sistemas que consumen más energía eléctrica son: La climatización (42 %), mientras que los motores, elevadores, refrigeración y servicios de lavandería cada uno consume entre un 5 a 7 % de energía. En cambio, para hoteles del Caribe el consumo de climatización es un tanto mayor, en el orden de (55 % a 65 %), debido fundamentalmente a las altas temperaturas ambientales, mientras que la parte de refrigeración consume un 14 %, alumbrado 11 %, ventiladores y bombas 12 % y la producción de agua caliente del 7 % (ONURE, 2015).

Ya se han realizado estudios de evaluación de mejoras energéticas, pero en casi todos ellos se han encontrado la dificultad de no tener un indicador capaz de evaluar adecuadamente estas mejoras. Ejemplo de ello es la tabla 2 en la cual se relacionan los coeficientes de regresión de los gráficos de dispersión del indicador kWh/HDO de diferentes instalaciones hoteleras cubanas.

Tabla 2. Comportamiento de los índices de regresión en diferentes Hoteles entre el consumo de energía eléctrica Vs las HDO (González et al., 2017).

<i>Hoteles Estudiados</i>	$R^2$ Coeficiente de correlación del modelo Lineal
<i>Ancón S.A</i>	0,050
<i>ZAZA Banco 1</i>	0,146
<i>Laureles S.A</i>	0,147
<i>Iberostar S.A</i>	0,053
<i>Costa Sur S.A</i>	0,123
<i>Las Tunas S.A</i>	0,144
<i>Unión. S.A</i>	0,012

Fuente: Tomado de (González et al., 2017)

Los resultados anteriores nos hacen pensar que otros factores además de las HDO tienen influencia en el consumo de energía eléctrica de las instalaciones hoteleras y por tanto el indicador utilizado hasta la fecha de kWh-HDO no muestra la variabilidad del consumo eléctrico de la instalación, por lo que cualquier análisis que se realice por medio de este indicador no ofrece una correcta valoración de su eficiencia energética (González et al., 2017).

### **1.1.2 Variables que influyen en el consumo de energía eléctrica de los hoteles**

Es importante conocer las variables que influyen en el consumo de energía eléctrica de los hoteles para de esa forma tratar de abatir el impacto de ellas sobre el consumo total. En los países del Caribe donde las temperaturas exteriores son elevadas y los niveles de confort son los mismos para todas las personas una de las variables de mayor incidencia en el consumo lo es:

- El clima: Esta variable es la más importante en el consumo de energía eléctrica y en los países tropicales en ocasiones se puede consumir en una misma habitación hasta 10 veces más energía en verano, comparándolo con el consumo de invierno (González et al., 2017). Este parámetro está directamente relacionado con la situación cubana durante la época del año donde los meses de julio y agosto son los de mayor calor del país, y meses como mayo y junio, septiembre y octubre, las temperaturas promedio son inferiores debido al efecto del incremento de la lluvia y con ello ocurre un refrescamiento de las temperaturas exteriores
- Categoría del Hotel: En función de la categoría de la instalación turística son diferentes los estándares de calidad y oferta que debe recibir el cliente. El nivel de equipamiento tecnológico no es el mismo, por ejemplo, en hoteles hasta 3 estrellas es utilizado equipos climatizadores de ventana de menor eficiencia que los equipos centralizados utilizados en hoteles 4 y 5 estrellas y si se conoce que la carga fundamental en los hoteles es la climatización ello implicará una diferencia sustancial al analizar los indicadores de los diferentes hoteles (Cueto Martínez, 2016). Las normas de consumo para ellos son muy diferentes, mientras que en hoteles normales se usa \$1,44/m<sup>2</sup>, en hoteles de lujo pueden llegar hasta \$ 360/m<sup>2</sup> (Cabrera and Pérez, 2015). Para construcciones pequeñas, los costos de energía de las habitaciones tienden a ser mayores, pues generalmente no se

prestan servicios de salones de conferencias o áreas comunes. Los hoteles grandes tienden a prestar dichos servicios además de salones de baile, restaurante, entre otros que consumen energía.

- Tipo de Turismo: El máximo consumo de energía de una habitación lo representa la climatización seguido por la iluminación y en ambos casos el consumo o no de la energía eléctrica depende del régimen de explotación a que es sometida, la cantidad de turistas y el tiempo de estancia en ella, costumbres y hábitos de consumo de cada turista (Plasencia et al., 2016). Por estas cuestiones en muchos hoteles se ha implementado la estrategia de trasladar la animación al horario de mayor demanda y pico del sistema electro energético nacional donde el precio de la energía casi se duplica al doble con el objetivo de tratar de alejar a los clientes de los lugares mayor de consumo (habitación) y desplazar el consumo de forma general.

Estudios preliminares realizados por (Cabrera and Pérez, 2015) y (Vasconcellos et al., 2011), confirman la importancia de estos indicadores y la necesidad de obtener modelos que relacionen el consumo de energía eléctrica de las instalaciones hoteleras con indicadores de las variables anteriormente analizadas.

## **1.2 Generalidades de los sistemas de acondicionamiento de aire**

Los sistemas de acondicionamiento de aire consisten, básicamente, en un ciclo de refrigeración y son empleados para retirar calor (cargas térmicas) de un ambiente con el fin de proveerlo de una atmósfera que sea adecuada para el uso de dicho espacio. La aplicación más común es mantener un nivel de confort aceptable para las personas que realizan una determinada actividad en el mencionado ambiente. El objetivo de enfriar un ambiente es permitir que las personas pierdan calor suficientemente rápido como para que el cuerpo pueda llevar a cabo sus procesos metabólicos con normalidad, pero no tan rápido como para que descienda la temperatura corporal (Valenzuela, 2003).

### **1.2.1 Cargas Térmicas**

El cálculo de cargas térmicas de una instalación es el paso inicial en el diseño de la misma y pretende determinar la potencia frigorífica máxima necesaria que debe tener la máquina de aire acondicionado que va a ser instalada en ese ambiente. Según (García, 2016) estas cargas son consecuencia de aquellos elementos que aportan calor a dicho espacio; calor que debe ser retirado apropiadamente por el sistema de aire acondicionado. El equipo de aire acondicionado debe estar en capacidad de controlar la temperatura y la humedad y mantener esas propiedades en un rango aceptable para favorecer el confort. Este cálculo se realiza en las condiciones más desfavorables (aquellas que producen unas mayores necesidades frigoríficas). En base a estas premisas, se calcula la tasa de retiro de calor sensible y latente que permitirá contrarrestar el efecto de incremento de temperatura y humedad provocado por las cargas térmicas (García, 2016). Se refiere a un incremento térmico porque se parte de la base que es un sistema para climas cálidos como es el caso de Cuba, que por su clima cálido no precisa incorporación de calefacción.

### **1.2.2 Ciclo de Refrigeración**

El ciclo de refrigeración es el ciclo termodinámico que funge como principio de operación de las máquinas térmicas empleadas para retirar calor de espacios que se desean acondicionar o refrigerar (García, 2016). Consiste básicamente de cuatro elementos: el compresor, el condensador, la válvula de expansión y el evaporador. Su distribución y esquema de funcionamiento general puede observarse en la Figura 1.

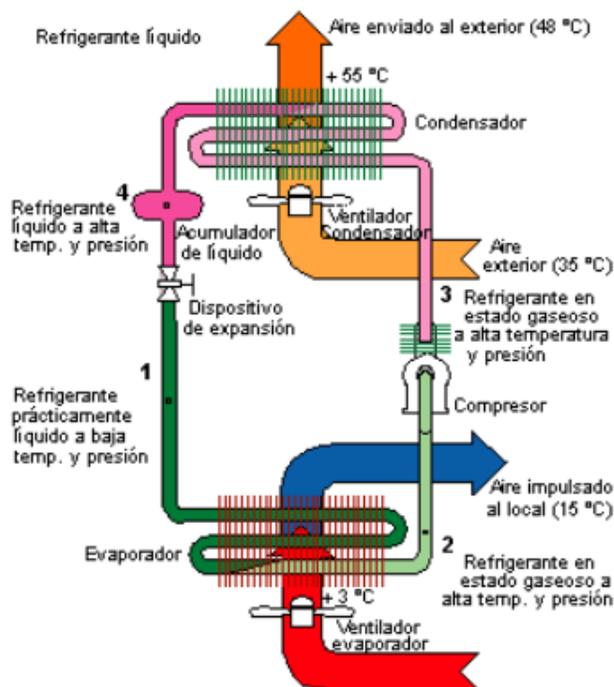


Figura 1. Esquema del ciclo de refrigeración.

Fuente <http://materias.fi.uba.ar/pdf/20de%20acondicionadores%20de%20aire.pdf>

El evaporador y el condensador son intercambiadores de calor; el primero retira calor de donde se requiere mediante la evaporación del líquido refrigerante y el segundo disipa este calor hacia el ambiente externo mediante la condensación del gas refrigerante. El compresor es el encargado de aumentar la presión y la temperatura del gas refrigerante que sale del evaporador con el fin de optimizar el intercambio de calor con el ambiente que ocurre en el condensador. Finalmente, la válvula es donde se expande el líquido refrigerante que sale del condensador, donde se logra disminuir su temperatura con la intención de incrementar la tasa de retiro de calor del espacio a acondicionar o refrigerar.

### 1.2.3 Clasificación de los sistemas de Aire Acondicionado

Autores como (Bhatia, 2015) y (García, 2016) explican que el intercambio de calor del refrigerante con el ambiente a acondicionar se realiza directamente en el evaporador, el sistema se conoce como aire acondicionado por expansión directa o equipos autónomos (Figura 2).

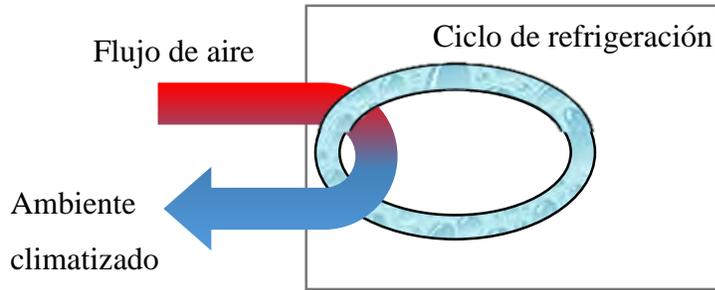


Figura 2. Esquema de la expansión directa.  
Fuente: elaboración propia

Este nombre viene porque es la expansión del líquido refrigerante la que permite tener una temperatura suficientemente baja para favorecer el retiro de calor del aire que ingresará al ambiente a acondicionar. En otras palabras, el aire acondicionado propiamente dicho disminuye su temperatura gracias al intercambio de calor directamente con el refrigerante. Éste es el principio de funcionamiento de los sistemas tipo *split*, *multi-split*, unidades de ventana y unidades compactas (García, 2016).

Si el intercambio de calor no se realiza directamente entre el aire a acondicionar y el refrigerante, sino que se realiza a través de un fluido intermediario, como agua fluyendo en un circuito de tuberías, entonces el sistema no es de expansión directa (Cueto Martínez, 2016). En esta segunda categoría se ubican los sistemas de expansión indirecta o equipos centralizados (Figura 3).

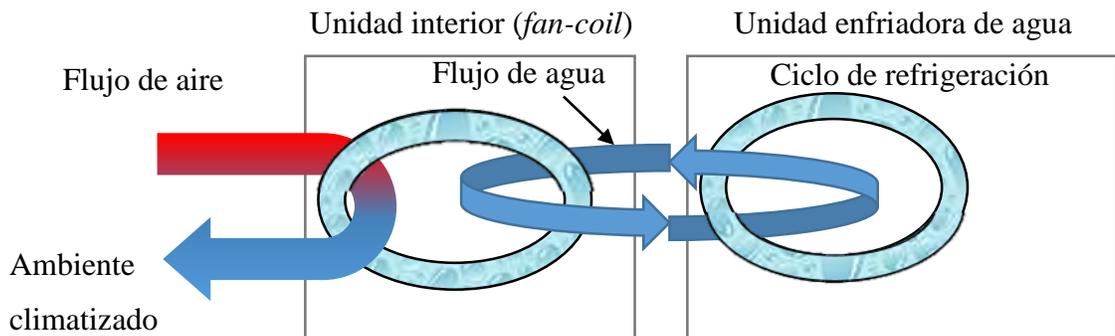


Figura 3. Esquema de la expansión indirecta.  
Fuente: elaboración propia

En la figura anterior se muestra como la expansión del refrigerante le retira calor al agua del circuito de agua helada y es ésta la que es bombeada hasta otro serpentín donde intercambia calor con el aire que será inyectado al ambiente acondicionado por medio de un *fan-coil*. Es común clasificar los sistemas de aire acondicionado en: tipo consola o de pared, portátil, partido (*Split o multi-split*), compacto individual y partido individual (Casas, 2016)

### Tipo consola o de pared

Es un equipo unitario, compacto y de descarga directa, se coloca uno por habitación o, si el local es de gran superficie, se colocan varios según las necesidades (Figura 4).

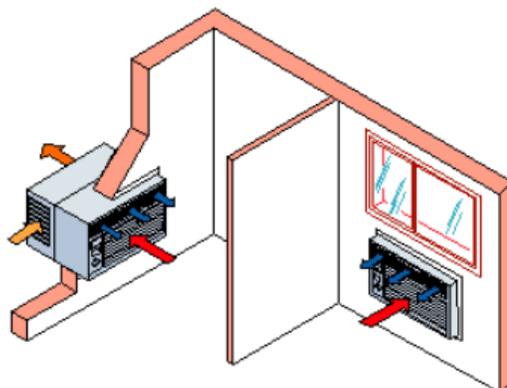


Figura 4. Aire acondicionado tipo consola o de pared

Fuente <http://materias.fi.uba.ar/pdf/20de%20acondicionadores%20de%20aire.pdf>

La instalación se realiza en ventana o muro. La sección exterior requiere toma de aire y expulsión a través del hueco practicado. Estos equipos son considerablemente ruidosos y muy aparatosos (Casas, 2016).

### Acondicionador portátil

Es un equipo unitario, compacto o partido, de descarga directa y transportable de una habitación a otra. Sólo requiere, para su instalación, una sencilla abertura en el marco o el cristal de la ventana o balcón (Casas, 2016) (Ver Figura 5).

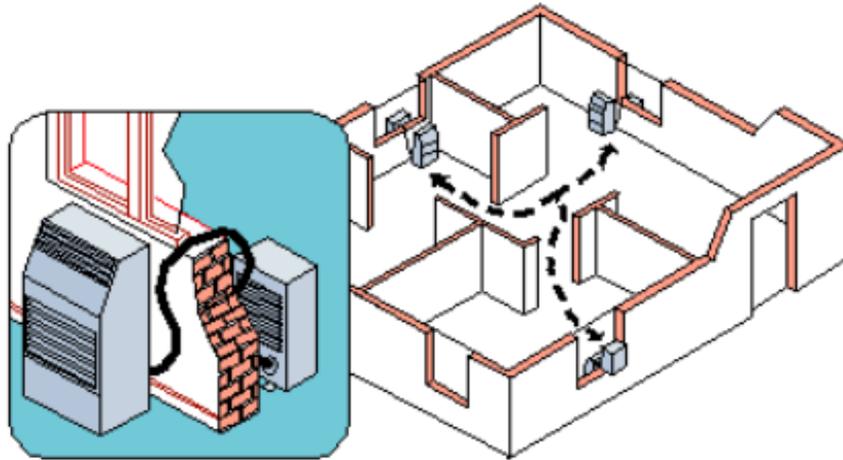


Figura 5. Aire acondicionado tipo portátil

Fuente <http://materias.fi.uba.ar/pdf/20de%20acondicionadores%20de%20aire.pdf>

Resuelve de forma adecuada las necesidades mínimas de acondicionamiento en habitaciones de viviendas y en pequeños locales.

### **Equipos partidos (*split o multi-split*)**

Según (Casas, 2016) son equipos unitarios de descarga directa. Se diferencian de los compactos en que la unidad formada por el compresor y el condensador va al exterior, mientras que la unidad evaporadora se instala en el interior. Ambas unidades se conectan mediante las líneas de refrigerante (Ver Figura 6).

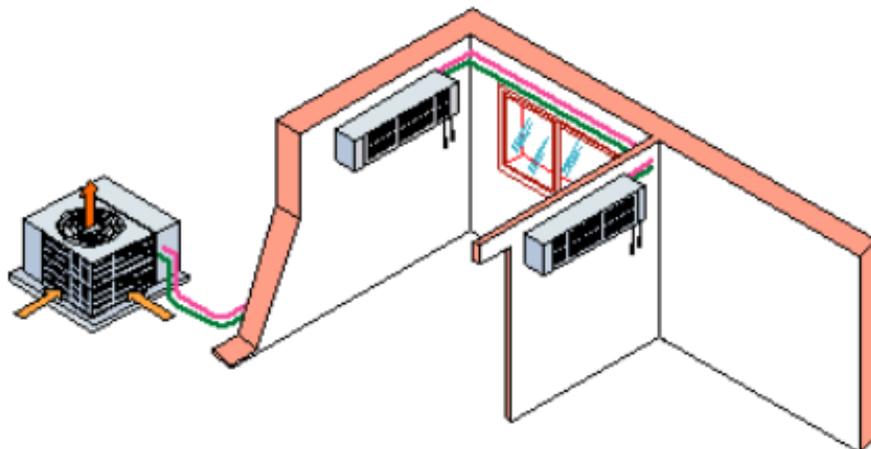


Figura 6. Aire acondicionado tipo split

Fuente <http://materias.fi.uba.ar/pdf/20de%20acondicionadores%20de%20aire.pdf>

Con una sola unidad exterior, se puede instalar una unidad interior (sistema split) o varias unidades interiores (sistema *multi-split*). Las unidades interiores pueden ser de tipo mural, de techo y consolas, y todas ellas disponen de control independiente. El hueco necesario para unir la unidad interior y la exterior es muy pequeño. Así, un hueco de 10 x 10 cm es suficiente para pasar los dos tubos del refrigerante, el tubo de condensación de la unidad evaporadora y el cable de conexión eléctrica (García, 2016).

El sistema *multi-split* (Figura 7) fue diseñado para aplicaciones comerciales de pequeña y mediana escala donde los sistemas con tuberías son contraproducentes por el costo, por el poco espacio disponible para pasar tuberías o porque eran estéticamente inadecuados para el ambiente a acondicionar (Bhatia, 2015). Por lo antes expuesto, son una buena opción a considerar para ese tipo de aplicaciones. Sin embargo, tienen la desventaja de ser más eficientes sólo en ambientes mono-zona y con poca variación de la carga térmica (Bhatia, 2015). Un ambiente mono-zona es un ambiente con una sola zona térmica, lo que significa que todos los espacios en esa zona o ambiente tienen un requerimiento de temperatura muy similar, por lo que dicha exigencia puede cumplirse con un solo termostato configurado para mantener la temperatura deseada en la zona. En otras palabras, los sistemas *multi-split* sólo admiten un (1) termostato para configurar el lazo de control del sistema, por lo que, en aplicaciones con diferentes zonas térmicas (diferentes temperaturas deseadas) no son recomendables. Además, se menciona su

baja efectividad en aplicaciones con carga térmica ampliamente variable, ya que estos son sistemas del tipo *ON/OFF*, que se prenden cuando la temperatura es superior a una cierta tolerancia y se apagan cuando alcanzan la temperatura de equilibrio que fue configurada en el termostato; esto hace que su eficiencia energética disminuya, por lo que no es bueno que estén en ambientes donde la carga térmica varía notoriamente en intervalos de tiempo relativamente cortos. Esta desventaja es subsanada con la tecnología VRF, que es detallada en la sección (1.2.4.2.).

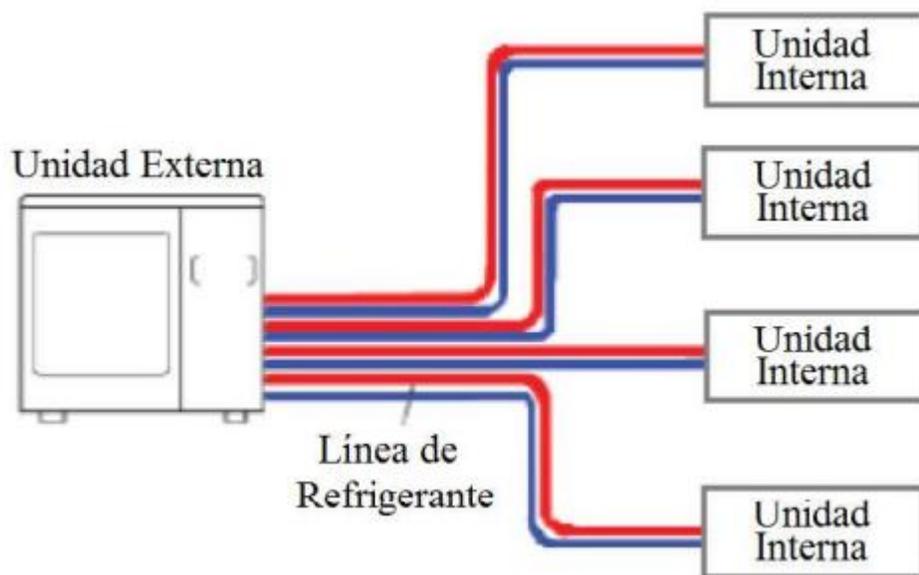


Figura 7. Tuberías de refrigerante en sistemas *multi-split* (Bhatia, 2015).

### Equipo compacto individual

Estos sistemas tienen una configuración similar a las unidades de ventana pues contienen todo el ciclo de refrigeración en un mismo conjunto, es decir, no hay separación en unidades interna y externa. La diferencia está en que son de mayores capacidades y pueden emplearse para servir áreas de mayor tamaño.

Estas unidades son para aplicaciones comerciales e industriales de pequeña y mediana escala, especialmente para edificios de poca altura. Normalmente, se ubican en el techo de la edificación y se conectan a un sistema de tuberías que llevan el aire frío hacia los ambientes a acondicionar y retornan el aire “caliente” al equipo (Samano, 2012) (Ver Figura 8).

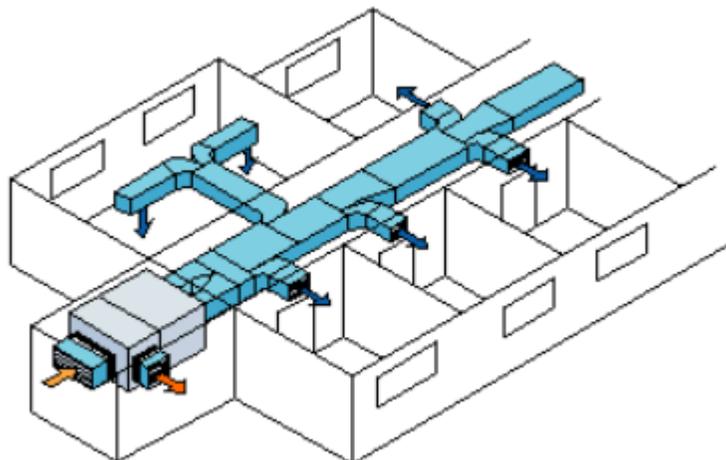


Figura 8. Aire acondicionado tipo compacto individual

Fuente <http://materias.fi.uba.ar/pdf/20de%20acondicionadores%20de%20aire.pdf>

El control es individual por equipo y se realiza de acuerdo con las condiciones de confort de la habitación más representativa (por ejemplo, en una vivienda, la sala de estar).

(Casas, 2016) explica que estos equipos necesitan una toma de aire exterior, este aire de reposición es necesario, porque si sólo se recircula el aire del ambiente (circuito retorno-suministro-retorno), entonces se tiene un ciclo cerrado y eventualmente se agotaría el oxígeno en el ambiente debido a la respiración de las personas que lo ocupan. Por lo tanto, es necesario renovar este aire por lo que se inserta un caudal de aire exterior a través de la máquina para inyectarlo ya acondicionado, además de reponer el oxígeno, evita que se estanque el aire y se generen malos olores, además de ser una forma de contrarrestar el exceso de aire de extracción, en caso de que exista y de evitar la infiltración. La tasa de aire fresco que debe inyectarse al ambiente está regida por la norma internacional que rige la ventilación de lugares de trabajo (ASHRAE, 1989). Este concepto del aire fresco inyectado al ambiente aplica para cualquier sistema que suministre aire a través de tuberías. Para los sistemas de aire acondicionado sin tuberías, como los *split* y los *multi-split*, se debe colocar un sistema de ventilación aparte o se debe asegurar la entrada de aire fresco exterior por medio de la infiltración. Estos sistemas se pueden colocar en un falso y hay casos de modelos horizontales y verticales (Casas, 2016).

### Equipo partido individual

Es también un equipo de descarga indirecta, mediante una red de tuberías y emisión de aire a través de rejillas en pared o difusores en techo. Al igual que los equipos partidos unitarios, está formado por dos unidades: el compresor y el condensador se sitúan en la unidad exterior, mientras que la unidad evaporadora se instala en el interior, conectada a la red de conductos. Ambas unidades se conectan mediante las líneas de refrigerante (Casas, 2016) (Ver Figura 9).

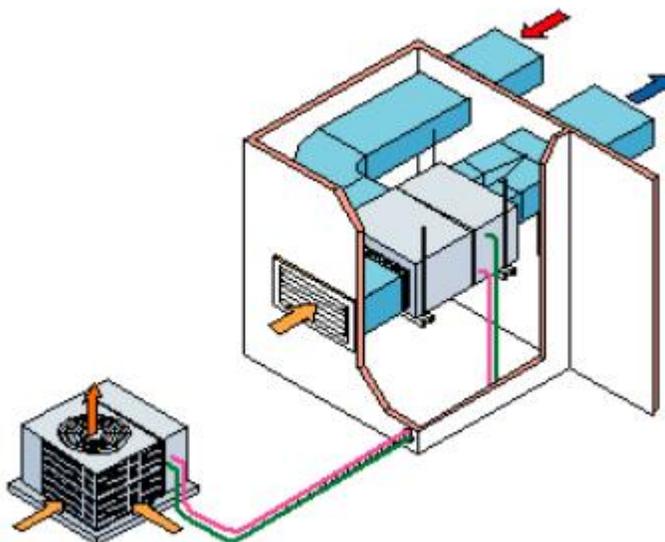


Figura 9. Aire acondicionado tipo partido individual

Fuente <http://materias.fi.uba.ar/pdf/20de%20acondicionadores%20de%20aire.pdf>

Como en el caso anterior, se suele instalar un equipo para toda la vivienda o local. El control es individual por equipo y se realiza de acuerdo con las condiciones de confort de la habitación más representativa. Para asegurar una correcta ventilación de las dependencias acondicionadas, la unidad interior precisa una toma de aire exterior. Esta unidad suele ser, en general, de tipo horizontal para facilitar su colocación oculta por un falso techo (Casas, 2016).

#### 1.2.4 Caracterización de los diferentes sistemas de climatización

En la actualidad, se hace primordial lograr una reducción del consumo de energía a nivel mundial, principalmente, en el mercado de la climatización. Esta necesidad energética hace que

tengan lugar la búsqueda del método más apto eficientemente. Entre las alternativas que resaltan se encuentran autores como (Samano, 2012), (Casas, 2016) , (García, 2016), (Carrier, 2018) y (YORK, 2018), los Sistemas Centralizados Enfriados por Agua y los de Variación de Flujo del Refrigerante (VRF, *Variable Refrigerant Flow*).

#### 1.2.4.1 Sistemas centralizados enfriados por agua

Según (García, 2016) los llamados sistemas de agua helada son aquellos en los que se combina el uso de un generador de agua helada (popularmente conocido como *chiller*, del inglés “enfriador”) y de unidades manejadoras de aire (UMA). En estos sistemas, el *chiller* contiene un ciclo de refrigeración completo con el cual se enfría el agua que corre por un circuito aparte y, luego, ésta es bombeada por un sistema de tuberías aisladas térmicamente hacia las distintas UMA donde pasa por un serpentín y enfría el aire que será inyectado al ambiente a acondicionar; finalmente, el agua regresa al *chiller* para ser enfriada de nuevo; ver Figura 10.

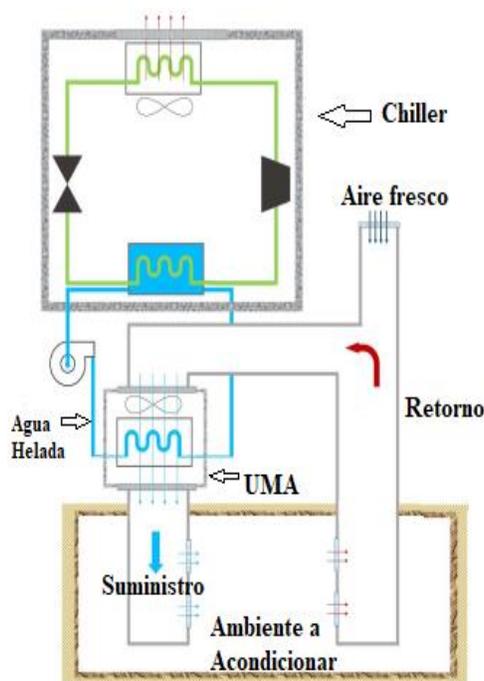


Figura 10 Esquema de funcionamiento de un sistema de agua helada con un *chiller* enfriado por aire.(García, 2016)

El diseño y funcionamiento de las enfriadoras de agua helada, ha sido y son objeto de minuciosos estudios dado el peso que tienen en el consumo total de energía. Al evaluar el consumo eléctrico de los *chillers* es necesario tomar en consideración las condiciones de operación del mismo en comparación con las de diseño. (Hernández et al., 2010b) plantea que los *chillers* con frecuencia operan por debajo del 50 % de su carga máxima.

Este esquema destaca una particularidad importante en el funcionamiento de estos sistemas: a diferencia de los sistemas de expansión directa, en los sistemas de agua helada no es el refrigerante el que intercambia calor directamente con el ambiente a acondicionar, sino que lo hace agua a muy bajas temperaturas; de ahí se deriva su nombre según (Casas, 2016).

Cabe acotar que el hecho de bombear agua helada hacia las distintas unidades terminales, en lugar de refrigerante, permite cubrir mayores distancias. Es por esta razón que estos sistemas son ampliamente utilizados en instalaciones de aire acondicionado central.

El elemento condensador en el *chiller* es donde el refrigerante disipa el calor que le retiró al agua helada. Esta disipación puede ocurrir mediante dos procesos que distinguen dos tipos de *chiller*: los enfriados por agua y aquellos enfriados por aire. En los *chillers* enfriados por agua según (Casas, 2016) se benefician del calor específico del agua y su calor latente de vaporización. Requieren una red de suministro de agua, los emisores son radiadores a baja temperatura, ventiloconvector<sup>1</sup> o suelo radiante y permiten mantener un COP constante y elevado durante toda la temporada (Bhatia, 2015). Estos *chillers* son más eficientes que los otros, pero requieren de una toma de agua para reponer lo que se pierde por evaporación en la torre de enfriamiento. Los *chillers* enfriados por aire según (Casas, 2016), el aire se toma del ambiente (intercambian calor con el ambiente exterior a través de ventilación forzada, de igual forma cómo funciona el radiador en el circuito de refrigeración de un vehículo o cómo funcionan las unidades externas de los sistemas *Split*), sin embargo, su bajo calor específico obliga a mover

---

<sup>1</sup> Batería o intercambiador de frío o de calor y un ventilador. Climatizan un local o varios conectados a una red de tuberías que le proporcionan la energía térmica (calor o frío) y tienen un sistema de regulación propio, generalmente un termostato.

grandes cantidades del mismo para un buen intercambio térmico, lo que hace que sea necesario el uso de ventiladores.

El uso de las plantas enfriadoras de agua condensadas por aire se está extendiendo cada vez más en sustitución de los modelos condensados por agua. El precio del metro cúbico de agua y las restricciones en su consumo que dicho coste implica, inclina la balanza a favor de las plantas condensadas por aire. Además, otros factores, tales como el problema de la legionella<sup>2</sup>, asociado a las torres de refrigeración, hacen que el uso de plantas condensadas por aire crezca cada vez más en importancia.

#### **1.2.4.2 Sistemas de flujo variable de refrigerante**

Los sistemas de flujo variable de refrigerante (VRF, *Variable Refrigerant Flow*) fueron introducidos en Japón hace más de 30 años (1982) y llegaron a Europa a finales de la década de los 80. Son sistemas con una avanzada electrónica de control que permite adaptar su volumen de enfriamiento a la demanda actual del ambiente que sirven (controlar la cantidad de refrigerante que es enviada a cada evaporadora) con capacidad para ser modular (Figura 11).

Esto permite conectar evaporadoras de distintos tipos y capacidades dando el potencial de alternar el uso de sus compresores, extendiendo su vida útil y garantizando tener disponibilidad sustitutiva cuando algún compresor se dañe; además de alcanzar un control de confort individual (Thornton and Wagner, 2012); son livianas y fáciles de transportar y facilitan el arranque por etapas del aire acondicionado en una obra (Bhatia, 2015).

Esto representa una significativa ventaja sobre los *multi-split* convencionales, ya que estos no permiten un control individual por cada ambiente servido. A su vez, los sistemas VRF ofrecen la opción de controlar todo desde un mismo sitio o a través de *Internet*. Además, otra característica que aporta flexibilidad en el diseño de estos sistemas es que se pueden conectar hasta 48 unidades internas por cada unidad externa (Bhatia, 2015). Por otro lado, en el catálogo

---

<sup>2</sup> Nombre común del género *Legionella*, que agrupa bacterias Gram negativas con forma de bacilo en agua.

de un fabricante se puede observar que las unidades externas de mayor capacidad aceptan un máximo de 64 evaporadoras (Carrier, 2018).



Figura 11 Módulo de Condensadoras

El mantenimiento regular es sencillo: cambiar filtros y limpiar serpentines; no hay bombas de agua que mantener ni tuberías que limpiar (Bhatia, 2015). Por otro lado, el espacio que ocupa el sistema es menor en comparación con otros porque las unidades, tanto internas como externas, son de menor tamaño y las tuberías de refrigerante son de pequeños diámetros. Esto lo hace conveniente para aplicaciones en edificaciones de poca altura o con poco espacio disponible. Una diferencia importante con los sistemas *multi-split* convencionales es un ahorro de alrededor del 30 % en costos de instalación debido a que los sistemas VRF minimizan el recorrido de refrigerante y por ende, utilizan menos tubería de cobre. El minimizar el recorrido de refrigerante aumenta la eficiencia.

En los *multi-split* (Figura 12(a)), cada evaporadora tiene su propio circuito de refrigerante; en los sistemas VRF es un mismo circuito que conecta a todas las evaporadoras en paralelo con la condensadora (Figura 12(b)).

Los sistemas VRF tienen la posibilidad de variar su capacidad de enfriamiento efectiva en un rango considerablemente amplio, a diferencia de otros sistemas de aire acondicionado. Esto se logra mediante el uso de compresores de velocidad variable (tecnología *Digital Inverter*) cuya capacidad puede ajustarse a la demanda en un rango desde 10 hasta 100 % de su capacidad nominal. Esto le otorga al sistema gran flexibilidad en cuanto al control de confort individual

de cada ambiente, lo cual permite un considerable ahorro de energía (Bhatia, 2015). De igual manera, estos sistemas pueden lograr la temperatura deseada dentro del ambiente en un período relativamente corto y permiten tener un margen de error en la temperatura muy reducido; generalmente de  $\pm 0,6$  °C (Goetzler, 2007).

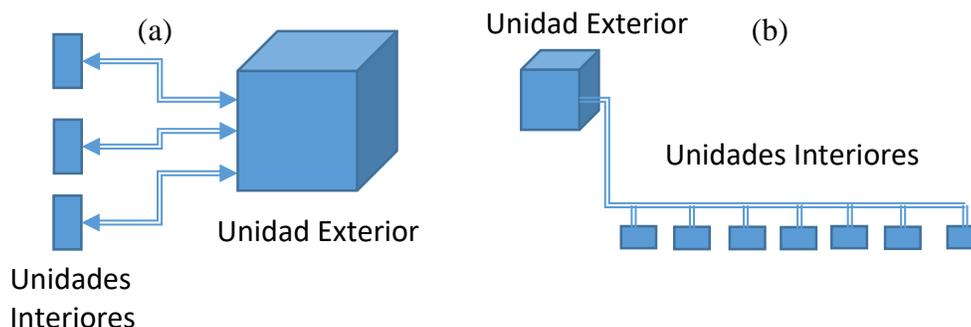


Figura 12 (a) Sistema *Multi-Split*; (b) Sistema VRF

Fuente: Elaboración Propia

Esta fácil adaptación a las fluctuaciones en la carga térmica es lograda mediante un complejo algoritmo de control sobre el flujo de refrigerante hacia cada evaporadora, el cual es regulado por una válvula electrónica de expansión (EEV, *Electronic Expansion Valve*) que aumenta o reduce el paso de refrigerante hacia la evaporadora gracias a su microprocesador, que recibe señales o pulsos de los sensores de temperatura ubicados en la evaporadora. A su vez, las evaporadoras se comunican con la condensadora a través de un cable de control y le informan a la misma sobre las variaciones en la demanda de refrigerante lo que provoca que ésta varíe la velocidad en sus compresores para cumplir con esta demanda y así vencer la carga térmica actual en el ambiente. Es importante mencionar que la característica principal de esta válvula de expansión es su habilidad para dividir una rotación completa en una infinidad de pequeños ángulos de igual tamaño (paso) como, por ejemplo, 500 pasos por vuelta. Esto lo logra gracias a un motor síncrono electrónico que rota un pequeño ángulo por cada pulso de control que recibe. Esto le permite a la EEV pasar de completamente abierta a completamente cerrada con un grado de precisión alto (Bhatia, 2015).

Un compresor *Inverter* funciona con variadores de frecuencia (VFD, *Variable Frequency Drive*) que le permiten variar su velocidad de rotación para ajustar el flujo de refrigerante. Algunas pruebas de campo han demostrado que esta tecnología puede reducir el consumo de energía en

un rango de 30 % a 40 % por año en comparación con compresores convencionales de tipo recíproco o rotativos (Bhatia, 2015). El ahorro energético que se puede lograr con un sistema VRF en comparación con un sistema de agua helada es dependiente del proyecto en cuestión. Las simulaciones aún están limitadas en ciertos aspectos y no logran representar en su totalidad las distintas posibilidades que pueden presentarse en la realidad. Además, el consumo de un sistema de aire acondicionado depende del clima de la zona, así que el ahorro logrado con VRF dependerá de dónde se haga el estudio comparativo al igual que del sistema que se tome como referencia para hacer la comparación (García, 2016).

El hecho de que los sistemas VRF tengan la capacidad de adaptarse a cambios sutiles en la demanda del ambiente genera una alta eficiencia a carga parcial. Esto resulta en una alta eficiencia energética ya que los sistemas de aire acondicionado operan la mayoría del tiempo en un rango de 40 % a 80 % de su capacidad máxima (García, 2016). Por esta misma razón, los sistemas de agua helada operan en ciclos, arrancan y se paran, acorde a la demanda de enfriamiento, lo que provoca picos de demanda de corriente, lo que aumenta el consumo energético. Por su parte, los sistemas VRF operan continuamente y adaptan su capacidad efectiva a la demanda en tiempo real, sin necesidad de apagarse y prenderse constantemente (Carrier, 2018).

Algunas fuentes estiman que un sistema VRF es entre 5 % y 20 % más costoso que un sistema de agua helada, enfriado por agua o por aire, o que un sistema compacto de expansión directa con una capacidad de enfriamiento equivalente (García, 2016). Esto se debe a las tuberías de refrigerante hechas de cobre y a las múltiples unidades evaporadoras con un sistema de control asociado (Bhatia, 2015).

Los fabricantes dicen que el sistema VRF es altamente confiable. Sin embargo, contratistas e ingenieros aseguran que son menos confiables que un sistema de agua helada debido a que emplean un mayor número de compresores. Típicamente, para un sistema VRF de 100 TR se necesitan 20 compresores, mientras para un *chiller* de 100 TR sólo son necesarios de 1 a 4 compresores (García, 2016). No obstante, esto es reconocido por los fabricantes como una ventaja pues el fallo de un compresor tendría un efecto muy limitado sobre la capacidad de funcionamiento del sistema, es decir, hay redundancia (Bhatia, 2015). Además, los compresores

se alternan constantemente; no hay uno dominante y los demás esclavos. El rol de compresor “dominante” se alterna entre todos los compresores.

Los sistemas VRF son muy útiles en aplicaciones donde hay una gran cantidad de zonas térmicas con distintos requerimientos de confort o en aplicaciones donde la carga térmica varía mucho de un ambiente a otro. Estos sistemas proveen un control individual y son los más versátiles de los sistemas multi-split (García, 2016). Los hoteles, escuelas y edificios de oficina son ejemplos de aplicaciones en las que este sistema se ajusta bastante bien. Sin embargo, estos sistemas no son competencia para las unidades compactas en casos como grandes edificios de poca altura como, por ejemplo, una tienda por departamentos.

Autores como (García, 2016), (Bhatia, 2015) y (Carrier, 2018) plantean que los sistemas VRF son una buena alternativa a la hora de diseñar un sistema de aire acondicionado central, pues permiten largos recorridos de tubería, que implican pérdidas en el circuito de refrigerante. Cuán larga puede ser la separación entre las unidades externas y las internas depende de la capacidad del compresor para vencer la caída de presión en las tuberías, así como de la capacidad del sistema de retornar el aceite apropiadamente. Por ende, todos los sistemas Split tienen una limitante de separación vertical, así como de recorrido total de tubería.

En VRF se permiten mayores separaciones entre las unidades externas e internas, pero aún existen limitantes. Esta es una gran desventaja en comparación con los sistemas de agua helada, donde el agua es bombeada y, por lo tanto, como la bomba es seleccionada para ajustarse a la diferencia de presión presente en el sistema, la tubería de agua helada puede hacer recorridos de cualquier longitud y configuración. Por esta razón, es importante seleccionar adecuadamente el diámetro de las tuberías y respetar las limitantes de distancia impuestas por cada fabricante. Algunos ejemplos de las mencionadas limitantes se encuentran en la Tabla 3.

Esta tabla evidencia cómo ha evolucionado la tecnología en esta última década pasando en 2014 con una distancia máxima de recorrido de 200 metro a la flexibilidad presente en 2018 en la que el sistema VRF permite hasta una distancia máxima de 1000 metros.

Por otro lado, los grandes recorridos de tubería de refrigerante aumentan el riesgo de que se presente una fuga y hacen que pueda ser difícil hallarla y repararla, lo cual inclina a los usuarios a pensar que se complica el cumplimiento con el estándar ASHRAE 15-2001: Estándar de

Seguridad para Sistemas de Refrigeración (García, 2016). Los sistemas VRF deben cumplir con dicho estándar, el cual guía a los ingenieros para diseñar de forma segura un sistema de refrigeración e indica cuál es el tipo y la cantidad de refrigerante permitido en un ambiente ocupado por personas.

Tabla 3. Particularidades de los sistemas por fabricante

Limitantes	Carrier	LG
Máxima distancia vertical entre la unidad externa y la unidad interna más lejana (m)	190	110
Máxima distancia vertical entre dos unidades internas (m)	45	40
Máximo recorrido total de tubería desde la unidad externa hasta la unidad interna más alejada (m)	100	90
Máximo recorrido de tubería desde la derivación o cabezal hasta la unidad interna (m)	60	40
Recorrido total de tubería (un solo sentido) (m)	1000	200

Fuente: elaboración propia a partir de datos del fabricante.

Una fuga de refrigerante, principalmente si el sistema sirve ambientes pequeños, puede ocasionar el fraccionamiento del oxígeno (Bhatia, 2015). Sin embargo, los sistemas VRF cumplen con este estándar del mismo modo que lo hacen los demás sistemas de expansión directa: la carga total de refrigerante que circula en un circuito debe estar dentro de los límites preestablecidos por la norma para la zona más pequeña servida por dicho circuito, para así garantizar la seguridad de los ocupantes si todo el refrigerante es liberado en esa zona (García, 2016). Por ejemplo, si el ambiente más pequeño es de  $9,3 \text{ m}^2$ , entonces la carga de refrigerante puede ser máximo de  $13,6 \text{ kg}$  (Bhatia, 2015). Esto no suele ser un problema a menos que se sirvan espacios relativamente muy pequeños. Para estos casos, se pueden servir varios espacios con una sola unidad *fan-coil*, por ejemplo, proveyendo a cada espacio a través de tuberías y de esa forma se asegura el cumplimiento con la norma ASHRAE 15-2001 (Goetzler, 2007).

La reducción de la capa de ozono es un tema relevante y el hecho de que estos sistemas requieran de mucho refrigerante, debido a sus largos recorridos de tubería, es un punto en contra. Sin embargo, con el desarrollo de los refrigerantes ecológicos y mejoras en el manejo y control de la carga de refrigerante, se ha logrado mejorar este aspecto de los sistemas VRF. Típicamente, se utilizan el R-410-A y el R-407-C, que son gases HFC (amigables con la capa de ozono, aunque son gases invernadero) (Bhatia, 2015).

### 1.2.5 Operación a carga parcial de los sistemas de clima

Los equipos de clima son creados para vencer la carga máxima al que pueda estar expuesto el entorno a climatizar, pero este ambiente acondicionado está verdaderamente sujeto a la carga térmica máxima durante sólo algunos días del año, el resto del tiempo, el sistema encargado de acondicionar debe adaptarse a las variaciones en la carga térmica y ser capaz de operar debidamente a carga parcial para poder mantener condiciones adecuadas en el ambiente, sin enfriarlo mucho ni dejar que se caliente demasiado. Las condiciones de carga parcial se producen por disminución en las cargas internas sensibles y/o latentes (individuos ausentes, luces apagadas, etc.) o por un cambio en las condiciones del entorno exterior (días con mucho viento o poco cálidos) (González et al., 2017). Tasar el trabajo a carga parcial de un sistema de aire acondicionado es casi tan importante como su selección. Según el manual de *Carrier* (Company, 2015), existen seis (6) métodos para controlar las condiciones del ambiente acondicionado cuando se encuentra sometido a carga térmica parcial:

- 1) Recalentamiento del aire de suministro
- 2) No circular todo el caudal de aire por el serpentín de enfriamiento (*bypass*)
- 3) Controlar el caudal de aire de suministro (con compuertas reguladoras)
- 4) Uso de controles *ON-OFF* en las evaporadoras o manejadoras de aire
- 5) Uso de controles *ON-OFF* en la máquina de refrigeración (*chiller* o condensadora)
- 6) Control de la capacidad de refrigeración

Estos métodos según (García, 2016) pueden emplearse por separado o pueden conjugarse para lograr unas condiciones más adecuadas en el ambiente. Esto es importante a la hora de estudiar los sistemas de agua helada y los sistemas VRF. Los sistemas de agua helada suelen regularse con controles *ON-OFF*, bien sean aplicados a la UMA o al *chiller*, siendo este último el mecanismo más común. El sistema enfría el ambiente hasta alcanzar la temperatura de equilibrio (*setpoint* del termostato) y luego se apaga. Cuando la temperatura alcanza una cota superior (normalmente 1 o 2 °C más que el *setpoint*), el sistema vuelve a encenderse para volver a llevar al ambiente a su temperatura de equilibrio. Por su parte, los sistemas VRF se regulan controlando su capacidad de refrigeración. Esto lo hacen con variadores de frecuencia en sus compresores, adaptando el caudal de refrigerante enviado hacia cada unidad evaporadora acorde

a la temperatura medida en tiempo real en el ambiente correspondiente. Esto requiere de un muy complejo sistema de control que involucra también a las válvulas electrónicas de expansión colocadas en cada unidad interna (García, 2016).

### **1.2.6 Modos de control en equipos de climatización**

Existen varios modos para el control de la temperatura solicitada en el ambiente climatizado y la utilización de uno u otro depende de criterios técnicos, tecnológicos y económicos. Dentro de ellos se encuentran (Casas, 2016):

#### **1.2.6.1. Control todo-nada**

En estos sistemas el compresor se pone en funcionamiento cuando el termostato percibe una temperatura inferior a la de su punto de consigna y se para cuando detecta una temperatura superior. Entonces su funcionamiento se basa en el compresor a pleno rendimiento o apagado, es decir, los compresores arrancan y paran frecuentemente

Cuando se pone en marcha el sistema, arranca el compresor y se mantiene en funcionamiento hasta que se alcanza la temperatura solicitada. En ese momento el compresor para y no se volverá a poner en marcha hasta que la temperatura lo solicite de nuevo.

Es el sistema de funcionamiento de los equipos de climatización más comunes ya que es el tipo de acondicionadores de coste inicial menor.

#### **1.2.6.2. Control por etapas**

Este modo de control se usa en equipos con compresores de tornillo. La regulación se realiza gracias a una válvula corredera discreta. Cuando se mueve, una parte del gas que está en la cámara cerrada sale, por tanto, comprime menos cantidad. De esta forma, se dice que el equipo trabaja a carga parcial.

También es un modo típico de funcionamiento de los compresores alternativos, en ellos se consigue un control por etapas con la carga y descarga de cilindros.

### 1.2.6.3. Control Proporcional

La cantidad de fluido refrigerante bombeado a las baterías aumenta o disminuye proporcionalmente a la proximidad de la temperatura del local con respecto al punto de consiga.

Los sistemas *Inverter* consiguen que el compresor, en lugar de parar, baje el régimen de funcionamiento, para así evitar continuos arranques y paradas del compresor, por lo que se reduce el consumo del sistema y mantiene la temperatura real con menos variaciones sobre la temperatura solicitada y a un menor nivel sonoro.

Este sistema de control es el que usa los equipos de climatización llamados *Inverter* y los sistemas de caudal de refrigerante variable.

### 1.2.7 Tecnología *Inverter*

Uno de las tendencias actuales del equipamiento de climatización tanto industrial como doméstico es la tecnología *Inverter*. En esta el régimen del compresor *Inverter* se adapta a la variabilidad de la carga térmica del edificio.

Los sistemas convencionales trabajan en corriente alterna y regulan la temperatura con un control todo-nada o por etapas, los sistemas de tecnología *Inverter* son capaces de variar la corriente en el compresor de alterna a continua y variar su velocidad para ajustar las potencias frigoríficas a las demandas energéticas.

Algunas de las ventajas de la tecnología *Inverter*, son:

- Se consiguen grandes ahorros energéticos, gracias al funcionamiento del régimen del compresor.
- Reducidos niveles sonoros.
- Se alcanza antes la temperatura deseada.
- Reducción de las fluctuaciones de temperatura (mayor confort).

Los elementos fundamentales (Ver Figura 13) del sistema *Inverter* son:

- Convertidor: transforma la corriente alterna (CA) en corriente continua (CC).

- *Inverter*: dispositivo electrónico de control situado en la unidad exterior con esto se consigue cambiar la frecuencia y por tanto variar la velocidad del compresor.
- Compresor: compresor especial de velocidad variable.



Figura 13. Diagrama de flujo del sistema *Inverter*.

Los compresores utilizados normalmente por los fabricantes son compresores Scroll y compresores Rotativos.

La tecnología *Inverter* se utiliza en algunos equipos autónomos y en los sistemas VRF. Los fabricantes aseguran que produce un ahorro energético comparado con la tecnología estándar de este tipo de equipos *Inverter* oscila entre 30 y 40 %.

### 1.3 Mantenimiento en las instalaciones hoteleras

El Departamento de Servicios Técnicos del Iberostar Grand Hotel Trinidad en su plan de trabajo plantea que el mantenimiento aplicado al Clima Centralizado es el TPM organizado a través de las 5S japonesa, la base de un TPM de "Clase Mundial", basándose en las condiciones y el equipamiento que poseen.

#### 1.3.1. Mantenimiento Productivo Total (TPM)

TPM es la sigla de "*Total Productive Maintenance*" (Mantenimiento Productivo Total) y es una técnica desarrollada en el Japón en la década de 1970, como una necesidad de mejorar la calidad de sus productos y servicios. Tiene como concepto básico "la reformulación y la mejora de la estructura empresarial a partir de la reestructuración y mejora de las personas y de los equipos",

con el compromiso de todos los niveles jerárquicos y el cambio de la postura organizacional (Tavares, 2006).

El TPM es una técnica que promueve un trabajo donde están siempre unidos, según los mismos objetivos: el hombre, la máquina y la empresa (Tavares, 2006).

Según (Gomez, 2014) el TPM tiene como objetivo principal realizar el mantenimiento de los equipos con la participación del personal de producción, dentro de un proceso de mejora continua y una gestión de calidad total. Considera que no existe nadie mejor que el operario para conocer el funcionamiento del equipo que le fuera confiado. El técnico de mantenimiento puede conocer muy bien las especificaciones del equipo y haber estudiado sus partes constitutivas. Pero el operario trabaja y convive diariamente con la maquinaria y llega a conocerla muy profundamente. Al implementarse este tipo de mantenimiento en una empresa, constituye un complemento a la gestión de calidad total, dado que todo el personal se involucra en esta filosofía y participan activamente para mejorar la disponibilidad operacional y el rendimiento del sistema de una manera global.

Autores como (Seiichi, 1991) indican que el TPM involucra a todos los sectores de la empresa y tiene como objetivo mejorar la disponibilidad real de los equipos lo que reduce las fuentes de pérdidas de productividad. Para su aplicación es requisito adaptar las tareas de mantenimiento, ya que un operario no puede realizar, por ejemplo, una intervención en los circuitos electrónicos, ni de automatismos. No obstante, todo lo que constituye el mantenimiento de primer nivel o mantenimiento básico previsto por el constructor sin desmontajes e incluso el de segundo nivel, tal como reparaciones sencillas y operaciones menores de preventivo con intercambio previsto de elementos estándar, en muchas ocasiones lo realizan mejor los operarios que el propio técnico, dado que conocen sus máquinas y los síntomas. Esta es la filosofía de la TPM que debe afrontar 6 fuentes principales de fallas que perjudican la obtención del rendimiento óptimo y pueden agruparse del siguiente modo:

- ✓ Las fallas.
- ✓ Los ajustes o calibraciones necesarios luego de las fallas y previo a la puesta en marcha
- ✓ El funcionamiento sin producción (por ejemplo, por falta de materia prima), las pequeñas detenciones sin motivo y la utilización de los equipos a menor potencia.

- ✓ Menor ritmo de producción del equipo (utilizar la máquina a menor rendimiento)
- ✓ Defectos internos en el proceso o método de producción.
- ✓ Controles periódicos innecesarios.

Es posible definir 5 medidas básicas para eliminar las fallas:

1. Mejorar las funciones operativas y de mantenimiento, para buscar prevenir errores humanos.
2. Satisfacer las condiciones básicas del equipo.
3. Respetar las condiciones de utilización especificadas en el manual de operación.
4. Remediar las causas de degradación del equipo al tomar medidas a tiempo para evitarlo.
5. Corregir u optimizar las deficiencias de concepción y/o diseño.

**UCLV**  
Universidad Central  
"Marta Abreu" de Las Villas



**FIMI**  
Facultad de  
Ingeniería Mecánica  
e Industrial

# CAPÍTULO II

## CAPÍTULO II. CARACTERIZACIÓN DEL HOTEL IBEROSTAR GRAND HOTEL TRINIDAD

### 2.1. Características generales de la Instalación

El Iberostar Grand Hotel Trinidad es un hotel con categoría de 5 estrellas, situado en el centro de la ciudad de Trinidad, el cual por pertenecer a la cadena Grand de Hoteles Iberostar y se comercializa para personas mayores de 15 años. Cuenta con 40 habitaciones espaciales y confortables, dotadas de la más moderna comodidad, de las cuales 36 son estándar y 4 *junior suites*<sup>3</sup>. Además, cuenta con sala de juegos con acceso a Internet a clientes del hotel y servicio de recepción 24 horas, canje de monedas e información al cliente. Presume de un lujoso restaurante principal con servicio buffet o a la carta y salón para fumadores. También ostenta de un lobby bar con de *snacks*<sup>4</sup>.

Este proyecto se desarrolló dentro de un área compuesta por varias parcelas ubicadas en la esquina que forman las calles José Martí y Lino Pérez, al frente del parque Carrillo, en la ciudad de Trinidad. También ocupa una parcela que se encuentra en la calle Francisco Cadahía, paralela a José Martí. Estos terrenos estaban ocupados por construcciones que fueron demolidas para permitir la construcción del hotel. Se desarrolló en un solo edificio que empleó la totalidad del área disponible y en altura alcanzó cinco niveles:

- Sótano – Para instalaciones tecnológicas.
- Planta Baja – Para áreas públicas y de servicio.
- Primer nivel – Para habitaciones y servicios.
- Segundo nivel – Para habitaciones, servicios y áreas tecnológicas.
- Azotea – Para áreas tecnológicas.

### Objeto social que desarrolla

---

<sup>3</sup> Cuentan con habitación doble, baño y salón.

<sup>4</sup> Aperitivos

La cadena IBEROSTAR ofrece calidad a sus clientes y proporciona además de un excelente servicio, una atención personal óptima con el fin de asegurar la total satisfacción de los usuarios. Representada por la estrella, la cadena supo ganarse a los consumidores a través de su filosofía, valores, profesionalidad y eficacia de su equipo humano. Con los clientes como pilar de la organización, los atributos que definen la cadena y su estrategia empresarial se encamina a lograr la satisfacción de sus huéspedes con la mejor atención, dado que su objetivo social es:

- Excelencia en el trato con el cliente.
- Vocación de servicio.
- Calidad como exigencia de la propia actividad.
- Satisfacción de los huéspedes a través de toda la oferta de servicios.
- Armonía en la relación calidad-precio.
- Respeto y promoción de las culturas locales.
- Gestión para la innovación.

## **2.2. Breve descripción de las instalaciones y áreas**

### **2.2.1. Subsistema de alojamiento**

El subsistema de alojamiento ocupa un área de 1.576,63 m<sup>2</sup>. Las edificaciones para el alojamiento se configuran en dos plantas de 20 habitaciones cada una, para un total de 40 habitaciones, clasificadas de la siguiente forma:

- Junior suite: todas con vista a la ciudad, de ellas 2 matrimoniales y 2 dobles, además en el baño presentan ducha.
- Standard: Pueden ser ocupadas en sencillas, dobles o triples. De ellas son 14 matrimoniales y 22 con camas *twins*<sup>5</sup>; la mayoría de ellas con vista a la ciudad y las de la parte posterior, tienen vista a los tejados coloniales. Están climatizadas, tienen TV

---

<sup>5</sup> Gemelas o Dobles

satélite a color, minibar, teléfono, caja de seguridad (gratis) y secadora de pelo. El baño está dotado con bañera y agua caliente las 24 horas del día.

### **2.2.2. Subsistema gastronómico**

El subsistema gastronómico ocupa un área de 550.79 m<sup>2</sup>. El área gastronómica se divide en los departamentos de Bares y Restaurantes y el de Cocina.

El departamento de Bares y Restaurantes cuenta con un *lobby* bar y un restaurante, el primero da servicio al área de *lobby* del hotel, bar de fumadores y el lobby bar que es antesala al restaurante.

El restaurante dispone de un servibar y un salón con capacidad para 120 *pax* por lo que cumple con los estándares de un hotel de 5 estrellas, organizado para cumplir con las normas higiénicas y de calidad establecidas.

El departamento de cocina contiene una cocina central, una carnicería climatizada con cámara de conservación y cámara de preparación para frío (*lunch*<sup>6</sup>) con cámara de conservación de alimentos, área de preparación de postres, cámara para conservar vegetales, cámara de retorno de alimentos y el área de *legumier*.<sup>7</sup>

### **2.2.3. Subsistema público-comercial**

El subsistema público-comercial ocupa un área de 757,08 m<sup>2</sup>. El departamento comercial radica detrás de la recepción para lograr una pronta comunicación con el mismo. En dicha oficina radican el jefe de Ventas, la encargada de Reservas y el jefe de Recepción.

---

<sup>6</sup> Aperitivo o comida ligera servida tipo bufé y compuesta de platos fríos, que se ofrece generalmente al mediodía a los asistentes a algún acontecimiento social.

<sup>7</sup> Área de verduras.

#### **2.2.4. Subsistema de administración**

Se ubica anexo a la recepción en un área de oficinas entre las que se encuentran: oficina del gerente general, subgerente general, comercial, jefe de Recepción, Contabilidad y Económico, Recursos Humanos; independiente de las anteriores, en otras áreas se encuentran las oficinas de Ama de Llaves, Seguridad, Mantenimiento, Servicios Técnicos, Alimentos y Bebidas, *chefs* y baños sanitarios para empleados.

#### **2.3. Puntos y puestos claves del consumo energético**

La principal fuente energética de la instalación es la electricidad, suministrada por el Sistema de la Red Nacional, a través de la Organización Básica Eléctrica (OBE) de la provincia.

El sistema de distribución comprende dos servicios eléctricos fundamentales:

1. Servicio normal cuando el suministro eléctrico proviene del Sistema Electro energético Nacional (SEN).
2. Servicio de emergencia cuando este suministro es realizado por el Grupo Electrógeno (GE) cada vez que ocurra una falla en el suministro del SEN. Incluye todas las cargas del Hotel.

El esquema de suministro electro energético tiene una disposición de Primario Selectivo. La energía eléctrica se suministra por un alimentador del SEN. Dicho suministro llega soterrado y por medio de un patinejo a una Subestación Compacta (en la cubierta del Primer Nivel), y de ahí hasta el Centro General de Distribución (CGD) en el segundo Nivel, por bandeja. Un banco de transformadores de 400 kVA cubre la demanda del hotel, que forma parte de la Subestación Compacta e incluye las protecciones de tensión media. Si ocurre una falla del alimentador del SEN, del transformador (o elementos asociados) se conmuta un interruptor transferencial automático permitiendo la conexión del GE, el cual entra en servicio de forma automática y no se desconectará hasta el adecuado restablecimiento de la energía proveniente del SEN.

El GE está compuesto por una unidad de 350 kVA y su panel de control con los elementos necesarios para la conexión del mismo frente a una falla del SEN en régimen de trabajo normal.

El GE está ubicado en la cubierta del edificio aledaña al local del CGD del tipo insonorizado colocado en el exterior.

El CGD tiene dos metro-contadores, para conocer y controlar los consumos de la Pizarra General de Distribución (PGD) y del Centro de Control de Motores (CCM) en tiempo real. Para lograr un mayor control del consumo eléctrico se instalaron dos metrocontadores en los puntos clave de Cocina-Restaurante y Lavandería, los que posibilitan monitorear en tiempo real el consumo.

El Hotel sustituyó el 100 % de la iluminación por bombillos ahorradores de menor potencia, situados en los bloques habitacionales y en algunas áreas de servicio. El alumbrado público se controla a través del sistema automático monitoreado en el departamento de servicios técnicos.

La Tabla 4 muestra los valores de consumo total de energía eléctrica en los últimos 10 años, desde el 2008 al 2017.

Se observa que en los primeros 8 años el consumo medio aproximado es de 1000 MWh, sin existir mucha variación, pero existe un incremento ocupacional del hotel y el consumo per cápita tiende a disminuir. Esta disminución puede estar asociada a las medidas organizativas implementadas por la máxima dirección del hotel para el ahorro de energía.

Tabla 4. Resumen de consumo energía eléctrica.

<b>Años</b>	<b>Consumo (MWh)</b>	<b>Huéspedes</b>	<b>Consumo per cápita (kWh/huesp)</b>
2008	1.101,30	20845	52,83
2009	1.005,33	20559	48,90
2010	1.014,76	20407	49,73
2011	1.074,13	22823	47,06
2012	1.016,65	22470	45,24
2013	1.006,58	23102	43,57
2014	1.004,03	23304	43,08
2015	1.007,28	25657	39,26
2016	974,95	25395	38,39
2017	818,31	19763	41,41
<b>Total</b>	<b>10.023,33</b>	<b>224325</b>	

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos aportados por el departamento de SSTT.

En el año 2016 se puede considerar el año de mayor eficiencia energética pues se logra el menor valor de consumo per cápita (38,39 kWh/huesp). Sin embargo, en el último año a pesar de que

el consumo es el más bajo (818311 MWh) con una menor ocupación del hotel en todo el año (19763 huéspedes que representa una disminución del 28 %), el consumo per cápita aumenta a 41,41 kWh/huesp, un 8 % respecto al año anterior. Este incremento puede estar condicionado por tres factores, el primero con el incremento de la temperatura media anual en Cuba (LG, 2014), el segundo con la afectación del huracán Irma en septiembre del 2017 y con una pérdida de eficiencia de los sistemas de climatización. Estos factores no se manifiestan de forma independiente, sino que pueden estar combinados, lo que dificulta determinar las causas del incremento de este importante índice que incide en las utilidades financieras de la instalación.

La Tabla 5 muestra la distribución del consumo por puestos claves.

CONSUMOS	Consumo (kWh)	(%)
Clima	199,00	48,03
Cámaras frías	88,80	21,42
Cocina	44,00	10,61
Iluminación	39,00	9,40
Lavandería	27,76	6,69
Hidroneumático	8,80	2,12
Agua caliente	7,20	1,73
<b>TOTAL</b>	<b>414,56</b>	<b>100</b>

Fuente: Datos aportados por el departamento de SSTT

Con esos datos se construye un gráfico de pastel que representa la estructura de consumo.

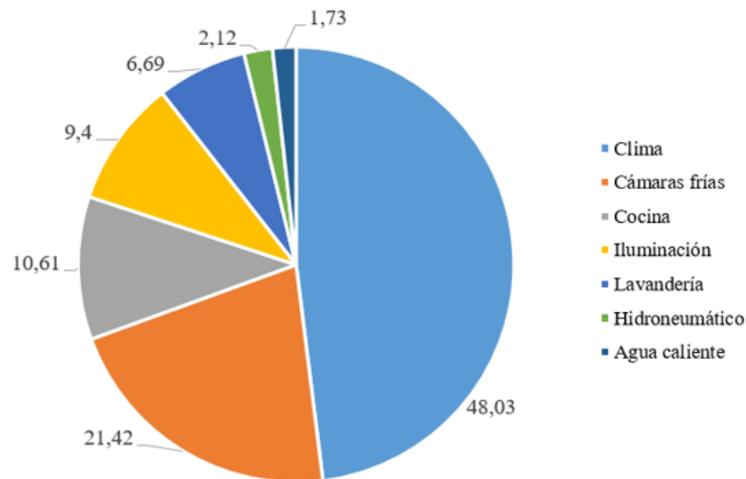


Figura 14. Estructura de consumo del hotel.

Se puede apreciar que el 48,03 % corresponde a los equipos de climatización y el 21,42 % a las cámaras frías, es decir casi el 70 % de la energía eléctrica. Esto se debe al equipamiento instalado en el hotel, los *chillers* son equipos grandes consumidores de energía eléctrica, las cámaras frías son otros de los principales consumidores, aunque también puede existir un manejo inadecuado por parte del personal encargado en cada área (no se cercioran que las puertas estén bien cerradas al salir de la cámara, se entra y se sale muchas veces). La cocina tiene equipos que también son altos consumidores como hornos, equipos de elaboración, etc. La iluminación es otro parámetro a seguir, aunque se han sustituido algunas luminarias y las otras están en planes de renovación por luminarias LED.

Esto indica que cualquier estudio energético realizado en la instalación hotelera, con el objetivo de disminuir los consumos energéticos, debe estar encaminado a la mejora de este indicador.

### **2.3.1. Control del consumo de energía eléctrica**

En el hotel existe un sistema de monitoreo y control energético, el cual se lleva a cabo a través de la instalación de un sistema de gestión centralizada de instalaciones ROBOT R-5000, este centraliza la información de los estados de las instalaciones, se programa y regula su funcionamiento y su mantenimiento, está formado por elementos informáticos, de comunicación, electrónicos y electromecánicos.

Este sistema de control supervisa y procesa la información del funcionamiento de las diferentes áreas instaladas como: locales climatizados, alumbrados interior y exterior, nivel de cisternas y fosos de evacuación, grupos electrógenos, control de habitaciones, etc. Todo esto gracias a una gama de sensores propios para temperatura, humedad relativa, luminosidad, presión, etc. Algunos ejemplos son:

1. STA: Sonda Temperatura Ambiente
2. STCO: Sonda Temperatura Contacto
3. STE: Sonda Temperatura Exterior
4. STF: Sonda Temperatura Frigoríficos
5. SHA: Sonda Humedad Ambiente

6. SHE: Sonda Humedad Exterior
7. SLE: Sonda Luminosidad Exterior
8. SPDT: Sonda Presión Diferencial Líquidos
9. SPR: Sonda Presión Relativa
10. SCAA: Sonda Calidad Aire Ambiente
11. SCAC: Sonda Calidad Aire Conducto
12. SNA: Sonda Nivel Cisternas

Esto es controlado por el operario de mantenimiento de guardia, que dentro de sus funciones está la supervisión y el monitoreo de las instalaciones cada cierto tiempo en el turno, además de estar pendiente a las diferentes alarmas que el sistema detecte.

Algunas de las ventajas que ofrece la instalación de este sistema de control centralizado son:

1. Ahorro de energía eléctrica: La reducción en el consumo se produce gracias a la distribución de la energía en función de la demanda existente en cada momento, esto se logra con paros de equipos en períodos de baja carga, arranques escalonados de equipos con el fin de evitar puntas de consumo, control de luminarias donde el operario encargado mediante el ordenador puede encender las luces necesarias, así como apagar las innecesarias. También se puede controlar la temperatura en los lugares climatizados y las cámaras de frío y ver si algunas de estas áreas tienen puertas o ventanas abiertas.
2. Ahorro de mantenimiento: Al monitorear el funcionamiento de las instalaciones, se puede centralizar y conocer inmediatamente las averías, lo que permite hacer un registro histórico del funcionamiento de la instalación, Esta información permite realizar un correcto mantenimiento preventivo, el cual alarga la vida de las máquinas e instalaciones. Posibilita la identificación y reparación rápida de averías con menos tiempo de paro y menos inconvenientes para los usuarios.
3. Mayor Confort.: Al optimizar, mediante estos sistemas de control, las condiciones de funcionamiento de las instalaciones, se consigue mantener y aumentar el confort de los ocupantes del edificio.

### 2.3.2. Sistema de clima del Hotel

Desde la apertura el 20/02/2006, el Hotel Iberostar Grand Hotel Trinidad tiene un Sistema de Clima Centralizado con dos máquinas enfriadoras de agua marca *Carrier* (Figura 15), modelo 30RA055 colocadas en la cubierta del hotel con un precio de inversión de \$ 56.200, están diseñadas para una capacidad de 211 kW (60 TR , 720000 BTU), con refrigerante R – 410 A y 3 compresores marca *Scroll* de 380 V cada una (Dorta, 2006).



Figura 15. Enfriadora de Agua (*Chiller*)

En esta imagen se aprecia las dos máquinas enfriadoras de agua (*chillers*) y sus seis compresores. Están conectadas en paralelo, al igual que sus compresores para asegurar una mayor fiabilidad del sistema, se observa en la parte superior los conductos donde se encuentran los ventiladores que forman parte de la torre de enfriamiento y debajo de ellos se encuentra los condensadores, estos elementos son los que se encargan de disipar en el ambiente el calor extraído.

### 2.4. Sistema de mantenimiento aplicado en el hotel

El hotel Iberostar Grand Hotel Trinidad pertenece al Sistema del Ministerio de Turismo, por lo que aplica la Resolución 150 que establece la Política de Mantenimiento (MINTUR, 2010). En esta se establecen las indicaciones para garantizar el óptimo estado físico de las instalaciones, así como asegurar el cumplimiento de los niveles de calidad y conservación necesarios para la prestación de servicios turísticos de acuerdo a los estándares internacionales establecidos.

El tipo de mantenimiento aplicado en esta instalación es el Mantenimiento Productivo Total (TPM), que se presenta como una respuesta de mantenimiento frente al avance de las teorías de calidad que proponen una nueva modalidad de participación del operario aplicando los métodos estudiados y vincularlos entre sí. El mismo operario que atiende las máquinas se ocupa del mantenimiento primario, es decir el más elemental, el cual incluye limpieza a fondo, lubricación, organización y perfeccionamiento del área del trabajo. Con el tiempo va tomando más tareas y puede hacerse responsable del equipo, lo que ha dado resultados.

Dentro del trabajo desarrollado para la mayor eficiencia y eficacia del mantenimiento en el hotel existe la orden de trabajo mensual la cual es desarrollada por especialidad e idoneidad del operario de acuerdo a sus conocimientos especializados y el reporte de averías para corregir lo antes posible la afectación.

**UCLV**  
Universidad Central  
"Marta Abreu" de Las Villas



**FIMI**  
Facultad de  
Ingeniería Mecánica  
e Industrial

# CAPÍTULO III

## CAPÍTULO III. PROPUESTA DE CAMBIOS AL SISTEMA DE CLIMA CENTRALIZADO

### 3.1 Propuesta de equipos de reemplazo

Para determinar cuál equipo resulta idóneo, se selecciona una máquina que pueda vencer la carga total y sensible, y que lo haga sufriendo el caudal requerido. Para esto se busca una máquina cuya capacidad nominal sea la carga térmica total del ambiente y que, a su vez, tenga la capacidad de vencer la carga sensible involucrada y de suministrar el caudal requerido.

Para sustituir las dos máquinas enfriadoras de agua marca *Carrier*, modelos 30RA055 con capacidad total de 422 kWh (120 TF, 1540000 BTU) se propone un sistema VRF para surtir la sección de las 40 habitaciones y un *chiller* con tecnología *Digital Inverter* para el resto de las instalaciones. En el caso del VRF es más sencillo, pues a cada espacio individual (oficina privada o habitación) se le asigna su propia evaporadora para que cada quien tenga control de su propio equipo y de esta forma, se aprovecha la principal virtud de los sistemas VRF: capacidad de adaptarse a las variaciones en la demanda térmica.

En los espacios abiertos es preferible colocar sistemas Centralizados con tubería de agua y equipos ventilador-serpentin (*fan-coil*), porque no tiene sentido zonificar un espacio que comparte la misma demanda térmica. Por ejemplo, si se tiene un recinto con mucho espacio, sectorizar y colocar varios *cassettes*<sup>8</sup> no es efectivo debido a que todos se prenderían al mismo tiempo y se configurarían a la misma temperatura por lo que sería equivalente y más práctico instalar un solo equipo que surta a todo ese espacio.

#### 3.1.1 Sistema VRF

Se elige un equipo del catálogo de la *Carrier* (Carrier, 2018) (Ver Figura 13) debido a que es una de las marcas de mayor prestigio en la industria por la fiabilidad y prestaciones de los

---

<sup>8</sup> Ventilconvector

equipos de frío y climatización así como la mayor eficiencia energética en el mercado. Se selecciona una nueva gama *XPower* de *Carrier* con un rendimiento excepcional. *XPower* VRF es la tecnología vanguardia por su moderno diseño y su facilidad de instalación; esta lleva la flexibilidad a un nuevo nivel gracias a su amplio intervalo de potencias (de 12,1 a 178 kW) y su capacidad para conectar con una amplia gama de unidades interiores y algunas de las mayores longitudes entre unidades del mercado.

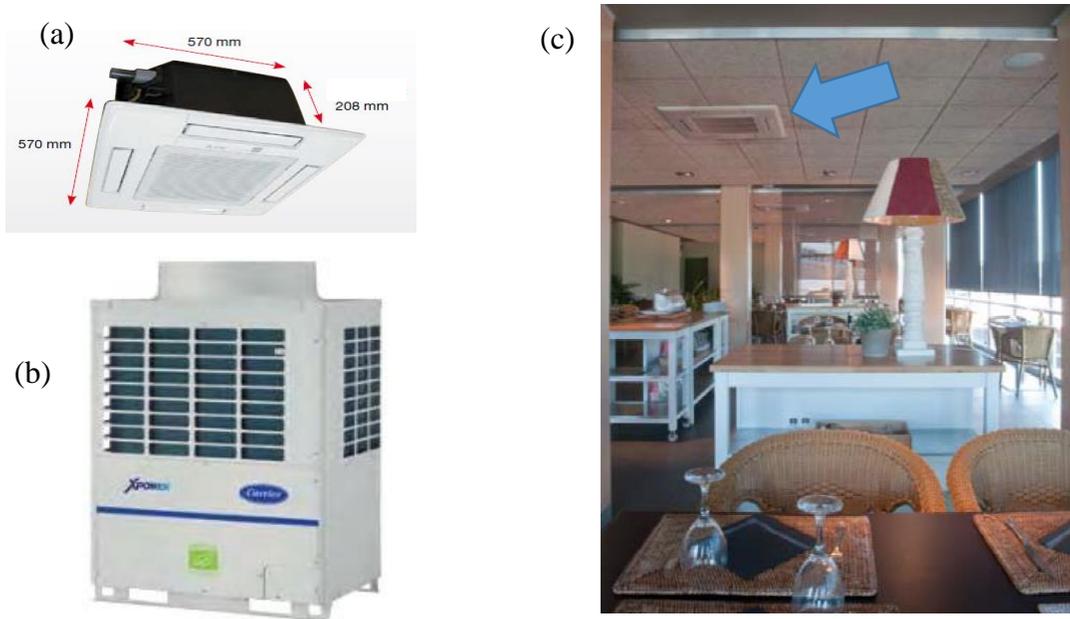


Figura 16. (a) unidad interior tipo cassette, (b) unidad exterior *XPower* VRF 2 Tubos (Carrier, 2018), (c) muestra de la estética de su instalación.

La Figura 16 representa la gama de productos *Xpower*, la cual utiliza una tecnología de compresores innovadora: *Twin Rotary* (Figura 17). Esta máquina de fluidos es impulsada por tecnología de control *Inverter* que permite ajustar continuamente la velocidad de funcionamiento de los compresores en tiempo real, lo que garantiza que el resultado satisfaga con precisión la demanda del usuario. Estos permiten al sistema *XPower* conseguir el rendimiento máximo y los mejores valores SEER de su clase.

La Figura 17 representa un compresor *Twin Rotary* de última generación con tecnología *Inverter* el cual tiene incluido un nuevo tipo de control llamado “Control Infinito”. Este innovador control permite fijar la velocidad de rotación del compresor en incrementos de 0,1 Hz, para un aumento y disminución casi ininterrumpido, esto permite al sistema proporcionar con precisión la capacidad demandada por el beneficiario y minimiza las pérdidas de energía.



Figura 17. Compresor *Twin Rotary* (Carrier, 2018).

Estos equipos son portadores de tecnologías de punta y muestra de esto es su nuevo “modo de refrigeración suave” que proporciona a los usuarios la libertad de personalizar la intensidad, el ángulo y la dirección del flujo de aire directamente desde el mando a distancia y disfrutar, de este modo, de un entorno interior perfecto a la temperatura ideal sin exposición directa a corrientes de aire.

La versátil tecnología *XPOWER* de tuberías proporciona al sistema VRF la capacidad de incluir tuberías hasta una longitud máxima de 1000 m .

Se seleccionó una *XPOWER* VRF de 2 tubos modelo 38 VT-168 HTEE con capacidad de 168 kW con un valor de 66115 USD. La Tabla 6 muestra sus características.

Tabla 6. Características de *Xpower* 38 VT-168 HTEE.

Refrigeración			Calefacción			Máxima cant. de unidades interiores	Precio (USD)
Capacidad (kW)	EER <sup>9</sup>	SEER	Capacidad (kW)	COP <sup>10</sup>	SCOP <sup>11</sup>		
168	2,63	5,13	178	3,68	3,55	64	66115

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del fabricante.

<sup>9</sup> Coeficiente de Eficiencia Energética. Es la ratio entre la capacidad frigorífica y el consumo de energía utilizado por el aparato para obtenerlo. Cuanto más alto es el EER, mejor rendimiento tendría la máquina.

<sup>10</sup> Coeficiente de Rendimiento. Es la ratio entre la capacidad calorífica y el consumo de energía utilizado por el aparato para obtenerlo. Cuanto más alto es el COP, mejor rendimiento tendría la máquina.

<sup>11</sup> Coeficiente de eficiencia estacional. Determina el rendimiento en calefacción y, por lo tanto, con él se puede calcular el consumo de un equipo en calor. Como el rendimiento de un aire acondicionado en el modo calor. Igual que el SEER, cuanto más alto sea, mayor será la eficiencia energética.

La tabla anterior muestra las características en frío y en calefacción del equipo seleccionado para trabajar en la zona de las 40 habitaciones.

Ventajas de este equipo:

1. Compresor que garantiza un alto nivel de capacidad y eficiencia.
2. Control inteligente *XPower* para regular el flujo de refrigerante a cada unidad interior mediante un control de PMV (válvula de modulación de impulsos) independiente.
3. *XPower* puede producir hasta 16,5 kW (4,6 TR) en un solo módulo.
4. Elevada flexibilidad, en cuanto a trazados de los circuitos, longitudes del sistema, número de unidades interiores por sistema, adaptación a cambios (Ampliación del Hotel).
5. Múltiples tipos de unidades interiores. Los tipos que nos podemos encontrar son: Cassete: 1, 2 y 4 vías, conductos: baja silueta, estándar y alta presión, techo, pared y suelo.
6. Calefacción continua: La inyección de gas caliente puede desescarchar simultáneamente la batería del intercambiador de calor y permitir un funcionamiento de calefacción continuo de la unidad interior.
7. Rendimientos elevados incluso para temperaturas muy frías, ya que el módulo puede funcionar a una temperatura exterior de - 25 °C en el modo de calefacción (-10 °C en modo de refrigeración, modo adecuado para aplicaciones en salas de servidores informáticos).
8. Posibilidad de contabilizar el consumo energético de cada usuario.

Flexibilidad:

1. *XPower* puede conectar hasta 44,7 kW (12,7 TR) y hasta 64 unidades interiores en un único sistema.
2. Con una longitud total máxima de hasta 1.000 m, el *XPower* VRF de 2 tubos puede adaptarse a cualquier tipo de proyecto.
3. Funcionamiento “*Back up*”: 2 compresores por unidad exterior. En el caso improbable de que un compresor falle, el otro sigue funcionando y mantiene el sistema en funcionamiento.

4. Compatible con KNX®, Lonworks®, Modbus®, Bacnet® para la automática.
5. Redundancia entre los diferentes módulos para optimizar el ciclo de vida útil del producto.

### 3.1.2 Equipo de agua Fría

Para seleccionar el equipo centralizado a usar en el resto de la infraestructura, se propone trabajar con el catálogo de la productora *YORK* (YORK, 2018) y la serie *YORK® Amichi™* que brinda una flexibilidad incomparable, un rendimiento de sonido de clase mundial, una amplia capacidad de control y una fiabilidad duradera. Estos diseños altamente optimizados utilizan componentes avanzados para ofrecer el mejor rendimiento de su clase como la presencia de un compresor *Scroll DC Inverter* que aporta una de las mayores eficiencias del mercado.

Principales características:

La tecnología *inverter* de corriente continua (DC) ofrece un control de capacidad variable y permite que los compresores de la enfriadora de la serie *Amichi™* funcionen de manera más eficiente en todas las condiciones de temperatura de refrigeración y de carga frente a enfriadoras de velocidad constante que utilizan un diseño de descarga escalonada.

Los ventiladores con conmutación electrónica (EC<sup>12</sup>) utilizan motores más eficientes y una mejor aerodinámica para mejorar la eficiencia general del sistema y el rendimiento del sonido, especialmente a carga parcial. A temperaturas ambiente reducidas, el control de alta presión varía las velocidades del ventilador para optimizar la eficiencia del sistema y garantiza un funcionamiento fiable. Esta combinación de compresor de velocidad variable y ventiladores proporciona un factor de potencia de 0,93 lo que hace eficiente al sistema.

El intercambiador de calor (de placas) de alta eficiencia utiliza menos refrigerante y transfiere el calor del líquido al refrigerante de manera más eficiente, lo que ofrece rendimiento excelente

---

<sup>12</sup> Estas siglas vienen del acrónimo inglés que indica conmutación electrónica. Se trata de un motor de corriente continua (DC) que lleva incorporado una conmutación a corriente alterna (AC), de manera que permite conectar un motor de 12 V DC a la red de 230 V AC.

de la transferencia de calor en un tamaño compacto. Esto también da como resultado una menor caída de presión en el lado del agua, lo que permite el uso de bombas más pequeñas y además minimiza el consumo de energía del edificio.

Con el tamaño más pequeño en el rango de capacidad más amplio del mercado, la Serie YORK® Amichi™ también es la solución perfecta para un alto rendimiento en espacios reducidos. La instalación se simplifica gracias a un tamaño compacto que permite su carga en una carretilla elevadora, y a una configuración modular, que posibilita que las unidades se organicen en diferentes combinaciones para adaptarse a los diferentes requisitos de espacio. Esta modularidad única, significa que la capacidad puede incrementarse gradualmente a medida que los edificios se construyen o los espacios se van ocupando. En caso de realizar acciones de mantenimiento, otros módulos en el sistema continuarán funcionando, lo que ayudará a reducir el tiempo de inactividad y la pérdida de capacidad.

Esta serie de YORK® ofrece dos niveles de rendimiento de sonido. Si los requisitos requieren una atenuación de sonido más allá de nuestros niveles estándar de bajo nivel de ruido, un Kit opcional Ultra-Silencioso puede reducir aún más la potencia del sonido, lo que resulta en una de las unidades más silenciosas disponibles.

La comodidad, productividad y hasta la mitad de la energía utilizada en un edificio climatizado por un *chiller* se ven afectadas por la forma en que funciona y la forma en que interactúa con otros componentes en su sistema HVAC & R<sup>13</sup>.

Para ayudar a maximizar la eficiencia y mantener el control, la serie YORK® Amichi™ viene de serie con un equipo inteligente integrado. Esta tecnología permite que el equipo se conecte sin problemas con los controles del edificio, como el sistema *Verasys*<sup>14</sup> de primer nivel que presenta YORK®, donde los equipos con capacidad inteligente pueden autoidentificarse e interoperar.

---

<sup>13</sup> Sistema de ventilación, calefacción y aire acondicionado (HVAC, por sus siglas en inglés de Heating, Ventilating and Air Conditioning)..

<sup>14</sup> Primer sistema de controles *plug-and-play* que le permite configurar una amplia gama de controles sin herramientas o ingeniería para un edificio o una empresa completa.

Además de las capacidades de equipos inteligentes, la serie YORK® Amichi™ facilita una flexibilidad adicional con BACnet MS/TP estándar, Modbus RTU o conectividad N2 para la comunicación con prácticamente cualquier sistema de administración de edificios. Esta capacidad avanzada e integrada de control también permite conectar y monitorizar múltiples enfriadoras y/o bombas de calor a través de un sólo controlador. Cada unidad viene equipada con una pantalla táctil con una interfaz de estilo web fácil de usar y navegación intuitiva para acceder fácilmente a los datos operativos. La información se puede mostrar en varios idiomas y la configuración es muy sencilla.

Se seleccionó una enfriadora de agua YORK (Figura 18) modelo YMAA-260, con un costo de 32565 USD por poseer sistema *Inverter* puede proporcionar al Hotel ahorros significativos en cuanto a energía eléctrica y cumplir con las características necesarias de trabajo (255 kW)

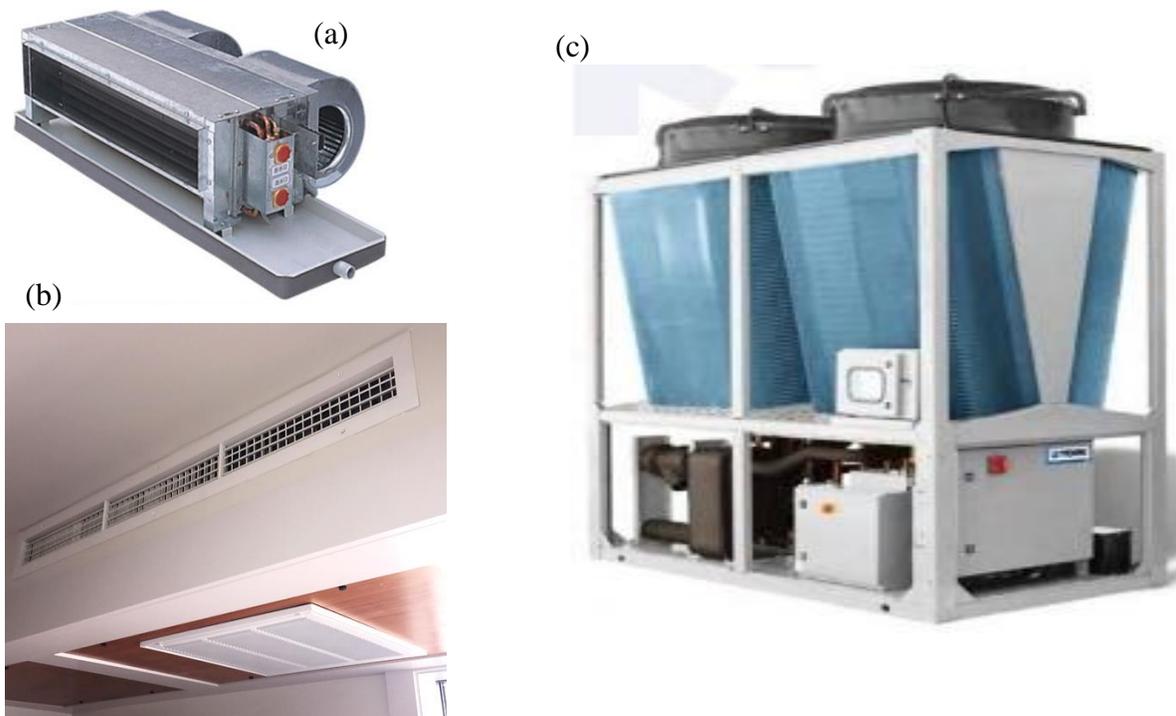


Figura 18. (a) *fan-coil*, (b) muestra de la estética de su instalación del *fan-coil*, (c) unidad exterior *Air cooled Scroll DC Inverter chiller*.

Tabla 7. Características de la enfriadora de agua YMAA-260

<b>Modelo</b>		<b>260</b>
Rendimiento	Capacidad de refrigeración solo frío	255 kW
	EER	3
	SEER	Cumple con las regulaciones de Ecodesing <sup>15</sup>
	$\eta_s, c$ (%)	
	Cap. refrigeración bomba de calor	255 kW
	COP	2,98
	SCOP	Cumple con los reglamentos de Ecodesing
	$\eta_s, h$ (%)	
	Nivel de potencia acústica STD / LN dB(A)	De 85 a 92 dB(A)
Refrigerante	Circuitos de refrigerante (#)	4
	Carga de refrigerante (R410A) (kg)	46
Compresor	Tipo	DC Scroll <i>Inverter</i> + Scroll
	Etapas de capacidad (%)	Regulación continua ( <i>Inverter</i> )
	Cantidad	8
Intercambiador lado aire	Tipo motor ventilador	Motor EC
	Número de ventiladores	4
	Límites de funcionamiento modo frío	-18 a 48 °C
	Límites de funcionamiento modo calor	-15 a 25 °C
Intercambiador lado agua	Tipo	<i>Plate Heat Exchanger</i>
	Volumen de agua (sin kit bomba)	34 L
	Tipo de bomba	Accionamiento de velocidad variable
	Caudal nominal de agua	11,9 L/s
	Pérdida de carga	38 kPa
	Temperatura salida de agua modo frío	- De 8 a 20 °C
	Temperatura salida de agua modo calor	De 25 a 55 °C
Dimensiones y Peso	Altura (sin kit bomba)	2500 mm
	Longitud (sin kit bomba)	3050 mm
	Profundidad (sin kit bomba)	2240 mm
	Peso de trabajo (kit sin bomba)	2316 kg

La Figura 18 representa el *chiller* seleccionado y en la Tabla 7 se exponen las características principales de este equipo.

Condiciones nominales: Capacidades refrigeración en kW dadas para 7 °C de temperatura salida de agua,  $\Delta t$  5 °C y 35 °C temperatura ambiente.

<sup>15</sup> Equipos en los que se aplican materiales y procesos de fabricación respetuosos con el medio ambiente.

Capacidades calefacción en kW dadas para 45 °C de temperatura salida de agua y 7 °C temperatura ambiente.

### 3.2 Propuesta de sistema de mantenimiento a los equipos de clima

La importancia del Sistema de Climatización para los emplazamientos hoteleros es máxima. Un hotel basa su éxito en la fidelidad del cliente, en la capacidad de su personal y en una imagen de excelencia en la atención y el cuidado de los invitados. El confort climático, la calidad ambiental y la disponibilidad de agua caliente para usos diversos (piscina, spa, habitaciones, lavandería, etc.) son elementos a considerar dentro de los factores del éxito. Como resultado, la elección de un adecuado sistema de climatización para los condicionantes existentes en cada instalación, y la implantación de un correcto mantenimiento, están dentro de los objetivos fundamentales a lograr en la explotación del hotel permitiendo que cumpla los estándares internacionales para ese tipo de instalación.

#### 3.2.1 Mantenimiento al sistema VRF

Los sistemas VRF permiten un fácil acceso a todas las necesidades de mantenimiento y poseen alta tecnología, con componentes electrónicos que permiten el autodiagnóstico para su fácil programación de mantenimiento o reporte puntual del origen de la falla.

En la Tabla 8 se muestra el proceso de mantenimiento al sistema VRF con las acciones a llevar a cabo, la periodicidad y el personal que ejecuta las tareas.

Tabla 8. Procedimiento para el mantenimiento del sistema VRF

No.	Acciones	Periodicidad	Ejecuta
1	Presión de alta o impulsión.	Diaria	Operario de Mantenimiento
2	Presión de baja.	Diaria	Operario de Mantenimiento
3	Revisar el nivel de aceite.	Diaria	Operario de Mantenimiento
4	Revisar el caudal refrigerante a través de la mirilla.	Diaria	Operario de Mantenimiento

6	Limpieza de filtros (Ver nota)	Quincenal	Operario de Mantenimiento
8	Verificar los Aisladores de Vibración (Medición de Vibraciones).	Mensual	Operario de Mantenimiento
9	Verificar el estado del Aislamiento Térmico.	Mensual	Operario de Mantenimiento
10	Verificar las Estructuras (Principales y Auxiliares).	Mensual	Operario de Mantenimiento
11	Verificar el Estado de la Pintura y Corrosión del Equipo.	Mensual	Operario de Mantenimiento
15	Contrastar y ajustar los presostatos <sup>16</sup> y termostatos <sup>17</sup> de mando y seguridad.	Anual	Empresa Especializada

Nota: un filtro sucio disminuye la eficiencia de la unidad de aire acondicionado, por lo que es importante limpiar el filtro cada 15 días de uso prolongado de la unidad. Si la unidad está montada en área contaminada, la frecuencia de limpieza del filtro deberá incrementarse. Si el filtro se encuentra demasiado sucio, debe ser reemplazado con uno nuevo.

### 3.2.2 Mantenimiento al equipo de agua Fría

La serie YORK® Amichi™ es suministrado con un equipo inteligente integrado y un sistema de control Verasys™ que proporciona una verdadera experiencia *plug-and-play*<sup>18</sup>, sin necesidad de herramientas de programación o puesta en marcha. El acceso remoto a través de una conexión segura a Internet y las notificaciones de alarma por correo electrónico o mensaje de texto son posibles a través de Verasys™. La interfaz gráfica fácil de usar proporciona un acceso sencillo a la información crítica de los equipos y las instalaciones para ayudar a minimizar el riesgo de paradas no planificadas y de costosas reparaciones. Verasys™ también provee un mejor control de la eficiencia energética. La clave de esta eficiencia es el control de la demanda, donde

<sup>16</sup> Presostato o interruptor de presión es un aparato que cierra o abre un circuito eléctrico dependiendo de la lectura de presión de un fluido.

<sup>17</sup> Termostato componente de un sistema de control simple que abre o cierra un circuito eléctrico en función de la temperatura.

<sup>18</sup> *Plug-and-Play* o *PnP* (en español "enchufar, conectar y usar") es la tecnología o cualquier avance que permite a un dispositivo informático ser conectado a una computadora sin tener que configurar, mediante puentes o *software* específico (no controladores) proporcionado por el fabricante, ni proporcionar parámetros a sus controladores. Para que sea posible, el sistema operativo con el que funciona el ordenador debe tener soporte para dicho dispositivo.

Verasys™ enlaza los requisitos de energía de una habitación o espacio a los equipos de calefacción y refrigeración, haciendo coincidir los lados de demanda y oferta para proporcionar una mayor eficiencia energética general

Las máquinas enfriadoras de agua (*Chiller*) después de su puesta en marcha requieren al igual que cualquier equipo un sistema de mantenimiento que propicie alargar su vida útil y detectar posibles fallas (Mantenimiento Preventivo) que eviten lo mayor posible que ocurran paradas inesperadas (Mantenimiento Correctivo) que afecten el confort en la instalación. Para ello se toman un conjunto de medidas para establecer las pautas generales del mantenimiento a todo el sistema de clima centralizado para así detallar las acciones concretas de mantenimiento en forma de un programa preventivo planificado llevado a cabo tanto por el personal de SSTT del hotel como por la contratación a terceros para tareas de elevada complejidad.

### 3.2.2.1. Unidad enfriadora

En la Tabla 9 se muestra el proceso de mantenimiento a la enfriadora con las acciones a llevar a cabo, la periodicidad y el personal que ejecuta las tareas.

Tabla 9. Procedimiento para el mantenimiento de las enfriadoras

No.	Acciones	Periodicidad	Ejecuta
1	Presión de alta o impulsión.	Diaria	Operario de Mantenimiento
2	Presión de baja.	Diaria	Operario de Mantenimiento
3	Revisar el nivel de aceite.	Diaria	Operario de Mantenimiento
4	Revisar el caudal refrigerante a través de la mirilla.	Diaria	Operario de Mantenimiento
5	Anotar temperaturas ida y retorno.	Diaria	Operario de Mantenimiento
6	Limpieza de la Unidad Enfriadora.	Mensual	Operario de Mantenimiento
7	Verificar los Aisladores de Vibración (Medición de Vibraciones).	Mensual	Operario de Mantenimiento
8	Verificar el estado del Aislamiento Térmico.	Mensual	Operario de Mantenimiento

9	Verificar las Estructuras (Principales y Auxiliares).	Mensual	Operario de Mantenimiento
10	Verificar el Estado de la Pintura y Corrosión del Equipo.	Mensual	Operario de Mantenimiento
11	Pintura de la Unidad Enfriadora.	Semestral	Operario de Mantenimiento
12	Verificar y ajustar los interruptores de flujo.	Anual	Empresa Especializada
13	Engrasar los mecanismos neumáticos o eléctricos de regulación.	Anual	Empresa Especializada
14	Contrastar y ajustar los presostatos y termostatos de mando y seguridad.	Anual	Empresa Especializada

### 3.2.2.2. Compresor

En la Tabla 10 se muestra la operación de mantenimiento a los compresores con los trabajos a realizar, la periodicidad y el personal que ejecuta las tareas.

Tabla 10. Procedimiento para el mantenimiento a los compresores

No.	Acciones	Periodicidad	Ejecuta
1	Verificar la presión de succión.	Mensual	Operario de Mantenimiento
2	Verificar la presión de descarga.	Mensual	Operario de Mantenimiento
3	Verificar presión de aceite.	Mensual	Operario de Mantenimiento
4	Verificar el nivel del aceite.	Mensual	Operario de Mantenimiento
5	Verificar horas de operación.	Mensual	Operario de Mantenimiento
6	Verificar voltajes.	Mensual	Operario de Mantenimiento
7	Verificar corrientes de operación.	Mensual	Operario de Mantenimiento
8	Verificar temperatura del Carter.	Mensual	Operario de Mantenimiento
9	Revisión nivel y estado del aceite.	Mensual	Operario de Mantenimiento
10	Prueba de acidez del aceite (si es necesario).	Mensual	Operario de Mantenimiento
11	Verificar funcionamiento de la resistencia del Carter.	Mensual	Operario de Mantenimiento
12	Verificar bornes y conexiones.	Trimestral	Operario de Mantenimiento

13	Verificar insulación eléctrica.	Semestral y Anual	Operario de Mantenimiento
----	---------------------------------	-------------------	---------------------------

### 3.2.2.3. Condensadores

En la Tabla 11 se muestra todo el proceso de mantenimiento a los condensadores con las labores, regularidad y personal que ejecuta los trabajos.

Tabla 11. Procedimiento para el mantenimiento a los condensadores

No.	Acciones	Periodicidad	Ejecuta
1	Verificar la temperatura de entrada y salida del agua.	Mensual	Operario de Mantenimiento
2	Verificar la presión de entrada y salida del agua.	Mensual	Operario de Mantenimiento
3	Barnizado de las partes no aleteadas.	Trimestral	Operario de Mantenimiento
4	Verificar la presión de entrada y salida del agua.	Trimestral	Operario de Mantenimiento
5	Limpieza de las baterías de condensación barnizado de las partes no aleteadas.	Semestral	Operario de Mantenimiento
6	Verificar voltajes.	Mensual	Operario de Mantenimiento
7	Verificar corrientes de operación.	Mensual	Operario de Mantenimiento
8	Limpieza y pintura de los ventiladores.	Trimestral y Semestral	Operario de Mantenimiento
9	Verificar rodamientos de los motores.	Semestral	Operario de Mantenimiento
10	Verificar insulación eléctrica.	Semestral y Anual	Operario de Mantenimiento

### 3.2.2.4. Red hidráulica

En la Tabla 12 se muestra el proceso de mantenimiento a toda la red hidráulica con la regularidad y el personal que ejecuta las tareas.

Tabla 12. Procedimiento para el mantenimiento a la red hidráulica

No.	Acciones	Periodicidad	Ejecuta
1	Limpiar filtros de agua.	Mensual	Operario de Mantenimiento

2	Revisión de salideros en la red.	Mensual	Operario de Mantenimiento
3	Revisión de bloqueo de las bombas de agua fría.	Mensual	Operario de Mantenimiento
4	Verificar válvulas y purgadores.	Semestral	Operario de Mantenimiento
5	Reparar daños de pintura e insolación.	Semestral	Operario de Mantenimiento
6	Limpiar e inspeccionar bombas de agua.	Semestral	Operario de Mantenimiento
7	Analizar calidad del agua.	Semestral y Anual	Operario de Mantenimiento
1	Lecturas de manómetros de las bombas.	Mensual	Operario de Mantenimiento
2	Controlar consumo de las bombas.	Mensual	Operario de Mantenimiento
3	Revisar cojinetes de las bombas.	Mensual	Operario de Mantenimiento
4	Ajustar preses de las bombas.	Mensual	Operario de Mantenimiento

### 3.2.2.5. Manejadoras de aire

En la Tabla 13 se muestran las labores y periodicidad del mantenimiento a las manejadoras de aire con el personal que ejecuta las tareas.

Tabla 13. Procedimiento para el mantenimiento a las manejadoras de aire

No.	Acciones	Periodicidad	Ejecuta
1	Revisar las correas y turbinas de las manejadoras.	Mensual	Operario de Mantenimiento
2	Engrasar cojinetes de las manejadoras.	Mensual	Operario de Mantenimiento
3	Limpieza de filtros, de la batería de la manejadora, limpieza general del equipo.	Mensual	Operario de Mantenimiento
4	Medir la intensidad de los motores.	Mensual	Operario de Mantenimiento
5	Toma de datos con periodicidad mensual. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperatura de entrada del agua.</li> <li>• Temperatura de salida del agua.</li> <li>• Consumo del ventilador centrífugo de la climatizadora.</li> </ul>	Mensual	Operario de mantenimiento

6	Revisión general en tramos visibles de fugas de aire acondicionado.	Semestral	Operario de Mantenimiento o entidad contratada
7	Revisión general del aislamiento de los conductos.	Semestral	Operario de Mantenimiento o entidad contratada
8	Revisión general de compuertas cortafuegos.	Semestral	Operario de Mantenimiento o entidad contratada
9	Inspeccionar uniones flexibles en los conductos de chapa.	Semestral	Operario de Mantenimiento o entidad contratada
10	Verificar la regulación y funcionamiento de: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Rejillas y difusores de impulsión.</li> <li>• Rejillas y difusores de retorno.</li> <li>• Rejillas y compuertas de aire exterior</li> </ul>	Semestral	Operario de Mantenimiento o entidad contratada
11	Revisar las baterías de las manejadoras	Anual	Operario de Mantenimiento
12	Comprobar los termómetros y los conmutadores.	Anual	Operario de Mantenimiento
13	Comprobar válvulas de 3 vías	Anual	Operario de Mantenimiento

### 3.2.3 Mantenimiento al control eléctrico de potencia

En la Tabla 14 se muestra el mantenimiento al control eléctrico de potencia con las labores, regularidad y el personal que ejecuta los trabajos.

Tabla 14. Procedimiento para el mantenimiento al control eléctrico de potencia

No.	Acciones	Periodicidad	Ejecuta
1	Revisar el historial de fallas.	Mensual	Operario de Mantenimiento
2	Verificar los contactos de los contactares magnéticos.	Trimestral	Operario de Mantenimiento
3	Inspección general y reapriete.	Trimestral	Operario de Mantenimiento
4	Verificar el funcionamiento de todo el sistema de control.	Trimestral	Operario de Mantenimiento
5	Verificar los transductores de presión.	Anual	Operario de Mantenimiento
6	Verificar las sondas de temperaturas.	Anual	Operario de Mantenimiento

Desde el punto de vista de la planificación de las acciones de mantenimiento se impone la necesidad de una correcta organización de acciones preventivas de los equipos, que debe estar orientada al contexto operacional de cada sistema, con un enfoque a la gestión del activo en su ciclo de vida. Es decir, tener en consideración que con el envejecimiento se incrementan las fallas por desgaste causadas por el uso en exceso, el desuso o abuso; por el tiempo o por las inclemencias del entorno.

En esta etapa de la vida de los activos se debe decidir en sustituir o reponer los dispositivos o sistemas, cuando su mantenimiento sea más costoso que reemplazarlos, o cuando su funcionalidad sea más cara que sustituirlos por nuevos.

### **3.3 Breves consideraciones económicas**

El consumo energético medio en el periodo de 10 años (2008 al 2017), de los equipos de clima centralizado marca *Carrier*, modelo 30RA055 con capacidad total de 422 kW es de 481,4 MWh anual, con un costo de 120355 CUC (0,25 CUC el kWh) lo que representa el 48 % del consumo total que es 1002, 3 MW.

Este equipamiento tiene más de 12 años de explotación en un ambiente marino agresivo, pues a pesar de no estar en el litoral, recibe el spray salino del sur del Mar Caribe, donde la salinidad media es mayor que en otros lugares del país con la consecuente degradación por corrosión en los paneles de los condensadores y estructura del equipo, lo que provoca unido al desgaste de los elementos del compresor, la pérdida de eficiencia, un aumento del consumo per cápita del 8 % de energía en el último año. Aspectos importantes a tener en cuenta para la toma de decisión en el reemplazo del sistema de climatización por uno con tecnología más moderna y eficiente.

Por otra parte si se instala el sistema VRF marca *Carrier* modelo *Xpower* 38 VT-168 HTEE de 168 kW que usa compresor *Twin Rotary* para surtir la sección de las 40 habitaciones y el *chiller* YORK modelo YMAA-260 de 255 kW con tecnología *Digital Inverter* para el resto de las instalaciones puede disminuir el consumo medio a 315 MWh por año con un costo de 78230

CUC (0,25 CUC el kWh), lo que representa un ahorro del 16,8 % del consumo total del hotel (valores calculados a partir de (Bhatia, 2015) ).

Este ahorro de energía (del 30 al 40 %) posibilita recuperar la inversión inicial de 98680 USD en un periodo de 2,3 años sumado a la flexibilidad que ofrecen estos sistemas modulares, que permiten “adaptar” la producción del ambiente deseado en función de la demanda y de la ocupación real del hotel induciendo una mayor eficiencia.

**UCLV**  
Universidad Central  
"Marta Abreu" de Las Villas



**FIMI**  
Facultad de  
Ingeniería Mecánica  
e Industrial

# CONCLUSIONES

## CONCLUSIONES

1. Las acciones de mantenimiento que se aplican al sistema de climatización del hotel permiten, a pesar de los años de explotación del equipamiento, que se mantenga en funcionamiento, sin embargo, no existe una orientación adecuada al contexto operacional de cada sistema, ni un enfoque a la gestión del activo en su ciclo de vida.
2. En el último año analizado (2017) el consumo per cápita de energía aumenta a 41,41 kWh/huesp, un 8 % respecto al año anterior. Este incremento puede estar condicionado por el incremento de la temperatura media anual en Cuba y la pérdida de eficiencia de los sistemas de climatización.
3. El equipamiento instalado para la climatización centralizada del hotel consistente en dos máquinas enfriadoras de agua marca *Carrier* modelo 30RA055 con capacidad de 211 kW (60 TR) tiene 12 años de explotación, lo que puede incidir en el aumento del consumo de energía por la pérdida de eficiencia. Este sistema representa el 48 % en la estructura de consumo.
4. Para sustituir las dos máquinas enfriadoras de agua marca *Carrier*, modelo 30RA055 con capacidad total de 422 kWh se propone un sistema VRF marca *Carrier* modelo *Xpower* 38 VT-168 HTEE de 168 kW que usa compresor *Twin Rotary* para surtir la sección de las 40 habitaciones y un *chiller* YORK modelo YMAA-260 de 255 kW con tecnología *Digital Inverter* para el resto de las instalaciones. Esto permite una disminución del consumo de energía eléctrica del 16,08 % modificando la estructura de consumo de la instalación, ya que representa el 37,5 % del total.

**UCLV**  
Universidad Central  
"Marta Abreu" de Las Villas



**FIMI**  
Facultad de  
Ingeniería Mecánica  
e Industrial

# RECOMENDACIONES

## **RECOMENDACIONES**

Dado los resultados obtenidos en el presente trabajo se precisa:

1. Sugerir a la dirección del Hotel Iberostar Grand Hotel Trinidad la solicitud de la inversión para la instalación de los equipos propuestos en este trabajo de diploma con el objetivo de disminuir el consumo de energía eléctrica sin afectar el confort exigido para este tipo de instalación.
2. Realizar un estudio de los sistemas de cámaras fría instalados para proponer la sustitución por tecnologías energéticamente más eficientes.

**UCLV**  
Universidad Central  
"Marta Abreu" de Las Villas



**FIMI**  
Facultad de  
Ingeniería Mecánica  
e Industrial

# BIBLIOGRAFÍA

**BIBLIOGRAFÍA**

- ASHRAE 1989. *ASHRAE Standard 62-1989: Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*, ASHRAE.
- BHATIA, W. 2015. Variable refrigerant flow systems 2. *Aschrae Journal*, 49, 24.
- CABRERA, O., BORROTO, A., MONTEAGUDO, J., PÉREZ, C. & CAMPBELL, H. 2016. Indicadores de Eficiencia Energética en hoteles turísticos en Cuba. Disponible en Internet: <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Ecosolar/Ecosolar06/HTML/articulo05.htm>, consultado el.
- CABRERA, O. & PÉREZ, Y. 2015. Reflexiones sobre el consumo energético en el sector hotelero cubano. *Scientia et Technical*, 29, 1.
- CARLOS, P. A. L. 2015. *Estrategias de creación empresarial*, Ecoe Ediciones.
- CARRIER 2018. Sistemas VRF. In: COMPANY, C. A. C. (ed.).
- CASAS, J. L. 2016. Equipos de Climatización. 31.
- COMPANY, C. A. C. 2015. *Handbook of Air Conditioning System Design*, New York.
- CUBADEBATE. 2016. *El Turismo, el sector más dinámico de la economía cubana* [Online]. <http://mesaredonda.cubadebate.cu/temas/economia-temas/2016/02/02/el-turismo-el-sector-mas-dinamico-de-la-economia-cubana/>. . [Accessed 20 de enero 2016].
- CUETO MARTÍNEZ, E. R. 2016. *Estudio de eficiencia energética y caracterización de cargas en el complejo hotelero Memories Paraíso Azul*. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Facultad de Ingeniería Eléctrica. Departamento de Electroenergética.
- DORTA, N. R. 2006. Ficha Técnica.
- GARCÍA, J. E. P. 2016. *Comparación Técnico-Económica entre los Sistemas de Aire Acondicionado de Agua Helada y VRF*. Universidad Simón Bolívar.
- GOMEZ, I. C. A. 2014. TPM : Complemento de la Gestion de Calidad Total un camino para la mejora continua. Instituto Tecnológico Universitario de Mendoza.

- GONZÁLEZ, A. M., NORDELO, A. B., YANES, J. P. M., BEDREGAL, H. R. V. & TOCA, C. E. S. 2017. Nuevos índices de consumo energético para hoteles tropicales; New energy indicators for tropical hotels. *Ingeniería Energética*, 38, 198-207.
- HERNÁNDEZ, M. T. R., MÉNDEZ, G. A. M. & GUADALAJARA, J. 2010a. XI CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS ADMINISTRATIVAS.
- HERNÁNDEZ, S. M., NORDELO, A. B., DE ARMAS TEYRA, M. & SARDUY, J. G. 2010b. Estrategias operacionales para el ahorro de energía en sistemas centralizados de climatización por agua helada de hoteles turísticos/Operational strategies for power saving in Climatization Centralized Systems by means of frozen water in tourism hotels. *Retos Turísticos*, 9.
- LG 2014. *LG Total HVAC Solution Provider.*, Korea.
- LUCARELLI LASALVIA, M. V. 2011. Eficiencia energética y energías renovables en los hoteles de Uruguay.
- MINTUR 2010. Resolución 150. Política de Mantenimiento del Ministerio del Turismo. Gaceta Oficial de la República de Cuba.
- ONURE 2015. Manual de inspección a los portadores energéticos electricidad y combustible. La Habana.
- PLASENCIA, M. Á. G., ERAS, J. C., SANTOS, V. S., YANES, J. P. M., RODRÍGUEZ, M. L., NODAL, Y. V., LARA, B. V. & MADRIGAL, J. A. Innovación tecnológica en el sector turístico. Proyecto de implementación de Sistemas de Gestión Energética basados en la NC ISO 50001. Congreso Universidad, 2016.
- SAMANO, D. 2012. Desempeño de los distintos sistemas de acondicionamiento de aire. *Revista Mundo HVACR*.
- SEIICHI, N. 1991. *Introducción al TPM Programa Para El Desarrollo*.
- TAVARES, L. A. 2006. *Administración Moderna de Mantenimiento*.

- THORNTON, B. & WAGNER, A. 2012. Variable refrigerant flow systems 1. *Pacific Northwest National Laboratory*, 1.
- VALENZUELA, R. 2003. Apuntes de Aire Acondicionado y Ventilación Industrial. *Escuela superior politécnica de Chimborazo*.
- VASCONCELLOS, D. B., LEÓN, A. F., BARRIOS, J. M. B., IBÁÑEZ, N. B. & BASULTO, J. C. M. 2011. Hacia un indicador de consumo de energía eléctrica más efectivo en hoteles del grupo Cubanacán de la provincia de Camagüey. *Ingeniería energética*, 32, 35-42.
- VÁSQUEZ, C. L. 2015. Guía para el uso racional y eficiente de la energía en el sector turístico dedicado al hospedaje.
- YORK 2018. Commercial & Industrial HVAC. *In: 2018*, Y. C. I. H. (ed.).
- ZAYAS GONZÁLEZ, A. 2014. *Gestión total eficiente de la energía eléctrica*. Universidad Central" Marta Abreu" de Las Villas.

**UCLV**  
Universidad Central  
"Marta Abreu" de Las Villas



**FIMI**  
Facultad de  
Ingeniería Mecánica  
e Industrial

# ANEXOS

# ANEXOS

## Anexo I. Características del sistema VRF



### 38VT-168HTEE



XPower 2 tubos: La solución perfecta para cualquier edificio

**Ahorro de energía:**

- El compresor Twin Rotary de corriente continua combinado con tecnología Inverter ofrece una de las mayores eficiencias energéticas del mercado (SEER 6,2, SCOP 3,7).
- Se ha diseñado un control de alta precisión para reducir el consumo final de energía del usuario.

**Prestaciones:**

- Compresor que garantiza un alto nivel de capacidad y eficiencia.
- Control inteligente XPower para regular el flujo de refrigerante a cada unidad interior mediante un control de PMV (válvula de modulación de impulsos) independiente.
- XPower puede producir hasta 22 HP en un solo módulo.
- Calefacción continua: La inyección de gas caliente puede desescarchar simultáneamente la batería del intercambiador de calor y permitir un funcionamiento de calefacción continuo de la unidad interior.
- Rendimientos elevados incluso para temperaturas muy frías, ya que el módulo puede funcionar a una temperatura exterior de -25 °C en el modo de calefacción (-10 °C en modo de refrigeración, modo adecuado para aplicaciones en salas de servidores informáticos).

**Flexibilidad:**

- XPower puede conectar hasta 60 HP y hasta 64 unidades interiores en un único sistema.
- Con una longitud total máxima de hasta 1.000 m, el XPower VRF de 2 tubos puede adaptarse a cualquier tipo de proyecto.
- Funcionamiento "Back up": 2 compresores por unidad exterior. En el caso improbable de que un compresor falle, el otro sigue funcionando y mantiene el sistema en funcionamiento.
- Compatible con KNX®, Lonworks®, Modbus®, Bacnet®.
- Redundancia entre los diferentes módulos para optimizar el ciclo de vida útil del producto.

### TABLA DE COMBINACIÓN

Capacidad HP	Combinación HP	Refrigeración			Calefacción			Máxima cantidad de unidades interiores	Precio
		Capacidad	EER	SEER	Capacidad	COP	SCOP		
8	8	22,4	3,84	6,2	25	4,29	3,64	18	10.054 €
10	10	28	3,46	6,12	31,5	4,04	3,54	22	11.108 €
12	12	33,5	3,19	5,99	37,5	3,68	3,67	27	12.774 €
14	14	38,4	3,08	5,65	45	3,81	3,57	31	16.627 €
16	16	45	3	5,3	50	3,68	3,7	36	17.771 €
18	18	50,4	3,27	5,97	55	3,81	3,59	40	19.727 €
20	20	56	3,08	5,7	62	3,68	3,6	45	21.811 €
22	22	61,5	2,52	5,04	63	3,68	3,49	49	24.442 €
24	12+12	67	3,19	5,99	75	3,68	3,67	52	27.047 €
26	14+12	73,5	3,13	5,82	82,5	3,81	3,62	58	29.291 €
28	16+12	79,5	3,08	5,62	87,5	3,68	3,69	63	33.004 €
30	16+14	85	3,04	5,47	95	3,68	3,6	64	32.758 €
32	16+16	90	3	5,3	100	3,68	3,7	64	34.461 €
34	18+16	95,4	3,14	5,66	105	3,75	3,64	64	38.958 €
36	20+16	101	3,04	5,52	113	3,68	3,64	64	39.114 €
38	22+16	106,5	2,7	5,17	114	3,68	3,59	64	41.879 €
40	20+20	112	3,08	5,7	126	3,68	3,6	64	48.872 €
42	22+20	117,5	2,76	5,37	127	3,68	3,55	64	48.878 €
44	22+22	123	2,52	5,04	127	3,68	3,49	64	48.886 €
46	16+16+14	130	3,02	5,41	145	3,72	3,67	64	48.888 €
48	16+16+16	135	3	5,3	150	3,68	3,7	64	61.891 €
50	18+16+16	140,4	3,09	5,55	156	3,72	3,66	64	64.188 €
52	20+16+16	146	3,03	5,46	163	3,68	3,66	64	68.997 €
54	22+16+16	151,5	2,78	5,21	164	3,68	3,62	64	68.908 €
56	20+20+16	157	3,05	5,59	176	3,68	3,62	64	81.198 €
58	22+20+16	162,5	2,82	5,35	177	3,68	3,59	64	83.800 €
60	22+22+16	168	2,63	5,13	178	3,68	3,55	64	85.116 €

Capacidad HP	Combinación HP	Refrigeración			Calefacción			Máxima cantidad de unidades interiores	Precio
		Capacidad	EER	SEER	Capacidad	COP	SCOP		
20	10+10	56	3,46	6,12	63	4,04	3,54	45	22.211 €
22	12+10	61,5	3,31	6,08	69	3,83	3,61	49	24.779 €
36	12+12+12	100,5	3,19	5,99	112,5	3,68	3,67	64	41.051 €
38	14+12+12	107	3,15	5,88	120	3,73	3,63	64	42.876 €
40	14+14+12	113,5	3,11	5,76	127,5	3,77	3,6	64	44.728 €
42	14+14+14	120	3,08	5,65	135	3,81	3,57	64	46.682 €
44	16+14+14	125	3,05	5,53	140	3,76	3,62	64	48.286 €
54	20+20+14	152	3,08	5,7	171	3,72	3,59	64	68.400 €



DATOS FÍSICOS

XPower VFR 2 tubos		8 HP	10 HP	12 HP	14 HP	16 HP	18 HP	20 HP	22 HP		
Modelo		38V100189HTEE	38V101189HTEE	38V102189HTEE	38V104189HTEE	38V106189HTEE	38V108189HTEE	38V1020189HTEE	38V1022189HTEE		
Código de capacidad	HP	8,0	10,0	12,0	14,0	16	18	20	22		
Capacidad de refrigeración (*)	kW	22,4	28,0	33,5	40,0	45,0	50,4	56,0	61,5		
Eficiencia energética de refrigeración (*)	EER	WW	3,84	3,46	3,19	3,06	3,00	3,27	3,06	2,52	
	SEER (*)		6,2	6,12	5,90	5,85	5,3	5,97	5,7	5,04	
	ηp fijo (%)	%	245	241,8	236,6	223	209	235,6	225	198,6	
Capacidad de calefacción (*)	kW	25,0	31,5	37,5	45,0	50,0	56,0	63,0	64,0		
Eficiencia energética de calefacción (*)	COP	WW	4,29	4,04	3,88	3,81	3,88	3,81	3,88	3,88	
	SCOP(*)		3,64	3,54	3,67	3,57	3,7	3,59	3,6	3,49	
	ηp calor (%)	%	142,6	138,6	143,6	139,6	145	140,6	141	136,6	
Nivel de presión sonora	Refrigeración	dB(A)	55,0	57,0	59,0	60,0	62,0	60,0	61,0	61,0	
	Calefacción	dB(A)	56,0	58,0	61,0	62,0	64,0	61,0	62,0	62,0	
		dB(A)	74,0	74,0	80,0	80,0	81,0	81,0	82,0	83,0	
Nivel de potencia sonora	Refrigeración	dB(A)	74,0	74,0	82,0	82,0	83,0	83,0	84,0	84,0	
	Calefacción	dB(A)	74,0	74,0	82,0	82,0	83,0	83,0	84,0	84,0	
		dB(A)	74,0	74,0	82,0	82,0	83,0	83,0	84,0	84,0	
Dimensión	Altura	mm	1830	1830	1830	1830	1830	1830	1830		
	Anchura	mm	990	990	990	1210	1210	1600	1600		
	Profundidad	mm	790	790	790	790	790	790	790		
Peso	kg	242	242	242	300	300	371	371	371		
Compresor	Tipo	Compresor Twin rotary hermético									
	Potencia del motor	kW	2,1 x 2	3,1 x 2	3,9 x 2	4,8 x 2	5,8 x 2	6,5 x 2	7,8 x 2	9,0 x 2	
Presión estática disponible	Pa	60	60	50	50	40	50	40	40		
Refrigerante	Nombre	R410A									
	Carga	kg	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	
Longitud equivalente de tubería a unidad más lejana	m	235	235	235	235	235	235	235	235		
Longitud real de tubería a unidad más lejana	m	190	190	190	190	190	190	190	190		
Longitud máxima de la tubería (*)	m	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000		
Diferencia de altura (unidad inferior por arriba/bajo) (*)	m	4090	4090	4090	4090	4090	4090	4090	4090		
Conexiones tuberías	Gas	Tipo	Soldadura fuerte								
		Diámetro	mm	19,1	22,2	28,6	28,6	28,6	28,6	28,6	28,6
	Líquido	Tipo	Abocerdada								
		Diámetro	mm	12,7	12,7	12,7	15,9	15,9	15,9	15,9	19,1
	Batiente	Tipo	Abocerdada								
		Diámetro	mm	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5
Intercambiador de calor		Tubo con aletas									
Unidad de ventilador	Tipo	Ventilador de hélice									
	Potencia del motor	kW	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	2,0	2,0	2,0	
	Volumen de aire	m³/h	8700	8700	12200	12200	12800	17300	17900	18500	
Número máximo de unidades de interior conectadas		18	22	27	31	36	40	45	49		
Rango de temperaturas de funcionamiento	Refrigeración (*)	°C DB	-10,0 a 46,0	-10,0 a 46,0	-10,0 a 46,0	-10,0 a 46,0	-10,0 a 46,0	-10,0 a 46,0	-10,0 a 46,0		
	Calefacción (*)	°C WB	-25,0 a 15,5	-25,0 a 15,5	-25,0 a 15,5	-25,0 a 15,5	-25,0 a 15,5	-25,0 a 15,5	-25,0 a 15,5		

DATOS ELÉCTRICOS

Corriente nominal de funcionamiento (refrigeración)	A	9,30	12,7	16,3	20,6	23,5	24,2	28,2	37,4	
Consumo eléctrico nominal (refrigeración)	kW	5,83	8,10	10,5	13,00	15,0	15,4	18,2	24,4	
Corriente nominal de funcionamiento (calefacción)	A	9,20	12,2	15,9	18,8	21,30	23,0	26,3	27,0	
Consumo eléctrico nominal (calefacción)	kW	5,83	7,80	10,2	11,80	13,6	14,7	17,1	17,4	
Alimentación eléctrica		3 N~ 50 Hz 400 V (380-415 V)								
		3 N~ 50 Hz 400 V (380-415 V)								
Intervalo de tensiones (*)	Mínimo	V	342	342	342	342	342	342	342	
	Máximo	V	456	456	456	456	456	456	456	
Corriente de arranque	A	Arranque suave								
Cables de alimentación eléctrica	MCA (*)	A	20,5	21,5	26,1	31,0	35,8	40,6	44,9	
	MOCF (*)	A	25,0	25,0	32,0	40,0	40,0	50,0	63,0	
Precio		10.694 €	11.108 €	13.674 €	16.627 €	17.230 €	19.727 €	21.936 €	24.442 €	

(\*) Condiciones nominales. Refrigeración: Interiores 27 °C bulbo seco / 19 °C bulbo húmedo. Exteriores 35 °C bulbo seco. Calefacción: Interiores 20 °C bulbo seco. De exterior 7 °C bulbo seco / 6 °C bulbo húmedo. Datos considerando una longitud equivalente de 7,5 m y una diferencia de altura de 0 m. (\*\*) Intervalo de tensiones. Las unidades son adecuadas para uso en sistemas eléctricos en los que la tensión suministrada al terminal de la unidad no está por encima ni por debajo de los límites del intervalo especificado. (\*\*) Selección del tamaño del cable según el mayor valor de MCA, MCA. Capacidad mínima del circuito. (\*\*) MOCF. Protección máxima de sobrecorriente (Amperios). (\*\*) No se permite una calefacción ambiental baja (-20 °C o menos) durante períodos prolongados. (\*\*) La refrigeración ambiental baja (-5 °C o menos) se limita a la aplicación. (\*\*) Eficiencia estacional basada en la norma EN 14825, combinación del sistema con casetes de 4 vías estándar. (\*\*) A partir de la combinación de 34 HP. (\*\*) Es de 70 m durante el tiempo normal y está sujeto a algunas condiciones específicas para alcanzar los 90 m. La distancia será de 50 m si la longitud de la tubería entre las unidades de interior es superior a 3 m.

Sobre el precio de venta se aplicará el IVA correspondiente. Modelos, datos y precios sujetos a revisión sin previo aviso.

**Anexo II. Características del sistema chiller de la York**

**AMICHI™ Series  
Air cooled Scroll DC Inverter chiller  
and heat pump**

YMAA 045 to 260 / YMPA 045 to 260  
A complete range from 44 kW up to 255 kW



**Exceeding Efficiency Standards**

The YORK® Amichi™ Series Air-cooled DC Inverter Scroll Chiller and Heat Pump have been designed to meet tomorrow's efficiency standards today. Delivering performance beyond typical chiller and heat pump efficiency levels, the YORK® Amichi™ Series meets or exceeds stringent regulatory requirements (see chart, below) through an optimized combination of YORK® efficiency enhancing technologies.

ECODESIGN REGULATIONS CATEGORY:	EFFICIENCY METRIC:	TOMORROW'S STANDARDS MET TODAY:
Comfort Heating	SCOP/η <sub>sh</sub>	<b>Amichi™ Heat Pump:</b> Sept. 2017 Compliant (Tier 2)
Comfort Cooling	SEER/η <sub>so</sub>	<b>Amichi™ Chiller:</b> Jan. 2021 Compliant (Tier 2)
Process Cooling (Med. Temp.)	SEPR	<b>Amichi™ Chiller:</b> July 2018 Compliant (Tier 2)
Process Cooling (High Temp.)	SEPR	<b>Amichi™ Chiller:</b> Jan. 2021 Compliant (Tier 2)

**Performance Without Compromise**

The YORK® Amichi™ Series is a no-compromise solution for a variety of climates and locations. It can maintain efficiency in a variety of conditions without kits or add-ons (down to -18°C ambient in cooling mode and -15°C ambient in heating mode). With the smallest footprint across the widest capacity range on the market, the YORK® Amichi™ Series is also the perfect solution for high performance in smaller spaces. Our systems offer two levels of sound performance. If requirements call for sound attenuation beyond our standard low-noise levels, an optional Ultra Quiet Kit can further reduce sound power by 6 dBA, providing one of the quietest units available.

**A History of Reliability**

With the YORK® Amichi™ Series Air-cooled Scroll Chiller and Heat Pump, we're building on our legacy of cooling solutions and technology leadership. We don't judge success based on theoretical findings, but real-world experience. Our first generation modular chiller was built over a decade ago. We use DC inverter technology proven in over three decades of use. Our use of inverter scroll technology dates to 1985. And every new YORK® chiller is subjected to a Highly Accelerated Life Test (HALT) during the design product development stages, allowing us to simulate a variety of extreme conditions and ensuring long term operational reliability and quality.



# Air cooled Scroll DC Inverter chiller and heat pump

YMAA 045 to 260 / YMPA 045 to 260



## Technical features

Model	YMAA / YMPA										
	45	65	80	100	130	160*	200*	230*	260*		
Performance	Cooling capacity c/o units	kW	44	60	77	99	122	164	189	219	255
	EER		2.67	2.78	3.08	2.99	2.94	3	3	3	3
	SEER		4.30	4.21	4.35	4.37	4.33	Meet Ecodesign Regulations			
	η <sub>sc</sub>		169	166	171	172	170	Meet Ecodesign Regulations			
	Cooling capacity h/p units	kW	44	60	77	99	122	164	189	219	255
	Heating capacity h/p units	kW	50	61	88	100	132	167	190	232	256
	COP		3.03	3.04	3.27	3.18	2.98	3.04	2.99	3.03	2.98
	SCOP		3.32	3.28	3.39	3.35	3.31	Meet Ecodesign Regulations			
	η <sub>sh</sub>	%	130	128	133	131	129	Meet Ecodesign Regulations			
	Sound power level STD / LN	dB(A)	80/75	82/77	81/77	83/79	84/80	87/81	89/82	91/84	92/85
Refrigerant	Refrigerant circuits	#	1	1	2	2	3	3	4	4	
	Refrigerant (R410A) charge	kg	9.5	12.3	17.6	20.5	22.8	29.5	32	43.3	46
Compressor	Type		DC Scroll Inverter + Scroll								
	Capacity steps	%	Stepless (Inverter)								
	Quantity		2	2	3	3	4	5	6	7	8
Air side heat exchanger	Fan motor type		EC motor								
	Fans quantity		1	1	2	2	2	3	3	4	4
	Working ambient temp. cooling mode		-18 - 48°C								
	Working ambient temp. heat mode		-15 - 25°C								
Water side heat exchanger	Type		Plate Heat Exchanger								
	Unit water volume (w/o pump kit)	l	9	10	11	14	15	27	29	32	34
	Pump Type		Variable Speed Drive Pump								
	Nominal water flow	l/s	2.1	2.9	3.7	4.7	5.8	7.4	9.1	10.5	11.9
	Pressure drop	kPa	25	24	23	30	38	23	29	41	38
	Working range water leaving temp. cooling		-8 - 20°C								
	Working range water leaving temp. heating		25 - 55°C								
Dimensions & Weight	Height (w/o pump kit)	mm	2440				2500				
	Width (w/o pump kit)	mm	1200			3050					
	Depth (w/o pump kit)	mm	1500			2240					
	Operating weight (w/o pump kit)	kg	575	598	875	901	979	1922	2003	2235	2316

YMAA: Cooling only units models. YMPA: Air to water heat pump models.

\* models with preliminary info.

Net values at Eurovent nominal conditions:

Cooling capacities in kW given for 7°C water leaving temperature Δt 5°C and 35°C ambient temperature

Heating capacities in kW given for 45°C water leaving temperature and 7°C ambient temperature

SEER and SCOP calculated according to EN14511 and EN14825

η<sub>sc</sub> calculated according to Ecodesign regulation for chillers comfort cooling and heating (813/2013, 2016/2281)

For other Ecodesign calculations, please contact your JCI representative.

The above data is based on Johnson Control's selection software YORKworks 17.06. Please refer to the latest version of the software for specific projects

## Advanced Control Made Easy

To help maximize efficiency and keep you in control, the YORK® Amichi™ Series comes standard with integrated Smart Equipment. This technology allows the equipment to connect seamlessly to building controls like our world-class Verasys™ system, where smart-enabled equipment can self-identify and interoperate.



Manufacturer reserves the rights to change specifications without prior notice.