



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica

**BUENAS PRÁCTICAS PARA MONTAJE DE EQUIPO DE AIRE ACONDICIONADO
CON VRF PARA EDIFICIOS DE OFICINAS**

Derick de Jesús Meneses López

Asesorado por el Ing. Esdras Feliciano Miranda Orozco

Guatemala, marzo de 2024

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**BUENAS PRÁCTICAS PARA MONTAJE DE EQUIPO DE AIRE ACONDICIONADO
CON VRF PARA EDIFICIOS DE OFICINAS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

DERICK DE JESÚS MENESES LÓPEZ

ASESORADO POR EL ING. ESDRAS FELICIANO MIRANDA OROZCO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, MARZO DE 2024

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. José Francisco Gómez Rivera (a.i.)
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Ing. Kevin Armando Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Ing. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Ing. José Francisco Gómez Rivera (a.i.)
EXAMINADOR	Ing. Roberto Guzmán Ortiz
EXAMINADOR	Ing. Luis Eduardo Coronado Noj
EXAMINADOR	Ing. Rigoberto Rafael Sandoval López
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

BUENAS PRÁCTICAS PARA MONTAJE DE EQUIPO DE AIRE ACONDICIONADO CON VRF PARA EDIFICIOS DE OFICINAS

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 18 de septiembre de 2023.

Derick de Jesús Meneses López

Guatemala, 14 de noviembre de 2023

Ingeniero
Gilberto Enrique Morales Baiza
Director de Escuela de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Ingeniero Morales:

Por este medio le doy a conocer que la revisión que he realizado del trabajo de graduación del estudiante **DERICK DE JESÚS MENESES LÓPEZ**, con registro académico **201213621** y CUI **220736464101**, titulado: **“BUENAS PRÁCTICAS PARA MONTAJE DE EQUIPO DE AIRE ACONDICIONADO CON VRF PARA EDIFICIOS DE OFICINAS”**, se ha concluido satisfactoriamente.

En base a lo anterior, lo someto a su consideración a efecto de continuar con el trámite respectivo para su aprobación.

Sin otro particular,
atentamente,



Ing. Esdras Miranda Orozco
COLEGIADO 4637

Esdras Feliciano Miranda Orozco
Ingeniero Mecánico
Colegiado 4637ASESOR

El Coordinador del área Complementaria de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado: **BUENAS PRÁCTICAS PARA MONTAJE DE EQUIPO DE AIRE ACONDICIONADO CON VRF PARA EDIFICIOS DE OFICINAS** desarrollado por el estudiante: **Derick de Jesús Meneses López** con registro académico **201213621** y CUI **2207364640101** recomienda su aprobación.

"Id y enseñad a todos"



Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
Coordinador área Complementaria
Escuela de Ingeniería Mecánica

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

SIST.LNG.DIRECTOR.9.EIM.2024

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador de área, al trabajo de graduación titulado: **BUENAS PRÁCTICAS PARA MONTAJE DE EQUIPO DE AIRE ACONDICIONADO CON VRF PARA EDIFICIOS DE OFICINAS**, presentado por: **Derick De Jesus Meneses Lopez**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Ingeniero Gilberto Enrique Morales Baiza
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica

Guatemala, febrero de 2024



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Decanato
Facultad e Ingeniería

24189101- 24189102

LNG.DECANATO.OIE.145.2024

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al Trabajo de Graduación titulado: **BUENAS PRÁCTICAS PARA MONTAJE DE EQUIPO DE AIRE ACONDICIONADO CON VRF PARA EDIFICIOS DE OFICINAS**, presentado por: **Derick De Jesus Meneses Lopez** después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. José Francisco Gómez Rivera
Decano a.i.



Guatemala, marzo de 2024

Para verificar validez de documento ingrese a <https://www.ingenieria.usac.edu.gt/firma-electronica/consultar-documento>

Tipo de documento: Correlativo para orden de impresión Año: 2024 Correlativo: 145 CUI: 2207364640101

Escuelas: Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, - Escuela de Ciencias, Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS). Postgrado Maestría en Sistemas Mención Ingeniería Vial. Carreras: Ingeniería Mecánica, Ingeniería Electrónica, Ingeniería en Ciencias y Sistemas. Licenciatura en Matemática. Licenciatura en Física. Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas (CESEM). Guatemala, Ciudad

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por darme vida, salud, sabiduría y permitirme alcanzar esta meta de culminar mi carrera profesional. Y es quien me permite sonreír y luchar todos los días por cada una de las metas.
- Mis padres** Yolanda López de León y Milton Miguel Meneses Ojeda. Porque me brindan apoyo incondicional y el amor para seguir adelante en cada una de las decisiones que tomo. Por creer en mí siempre e inculcarme valores y ser una guía en mi vida.
- Mis hermanos** Milton Efraín y Michael Josué, por su cariño, apoyo incondicional desde el inicio, compartir los buenos y malos momentos y comprensión inagotable en cada una de las situaciones.
- Mis abuelos** Por el cariño, los consejos que me brindan para salir adelante y ser un apoyo para cada una de las situaciones que he pasado.
- Mi familia** Tíos, tías, primos, primas. Por su apoyo y muestras de cariño que han sido fundamentales para alcanzar esta meta.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Casa de estudios que me abrió las puertas para formarme como profesional.
Facultad de Ingeniería	Por brindarme los conocimientos necesarios para que pueda ejercer una carrera profesional.
Mis amigos de la facultad	Por todas las buenas experiencias que vivimos y por su apoyo incondicional.
Mi asesor de trabajo de graduación	Por su apoyo y tiempo que dedicó a mi trabajo de graduación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XI
OBJETIVOS.....	XIII
INTRODUCCIÓN	XV
1. PROCEDIMIENTO TÉCNICO ACTUAL PARA MONTAJE DE EQUIPO DE AIRE ACONDICIONADO CON VRF	1
1.1. Diseño y planificación	1
1.2. Selección de equipos	3
1.3. Instalación de unidades.....	4
1.3.1. Unidades exteriores.....	4
1.3.2. Unidades interiores.....	5
1.4. Conexiones eléctricas.....	6
1.5. Carga refrigerante	9
2. CONCEPTOS FUNDAMENTALES SOBRE REFRIGERACIÓN Y SISTEMAS DE AIRE ACONDICIONADO CON VRF	11
2.1. Psicrometría	11
2.1.1. Propiedades del aire.....	12
2.1.2. Carta psicrométrica.....	13
2.2. Campo y usos del acondicionamiento de aire	15
2.2.1. Componentes del sistema	15
2.2.2. Confort humano	17

2.2.3.	Estándares de confort	17
2.2.4.	Diseño del sistema de acondicionamiento de aire ..	20
2.3.	Cálculo de cargas térmicas	22
2.3.1.	Características de la edificación.....	22
2.3.2.	Tipo de paredes interiores.....	22
2.3.3.	Determinación de la carga térmica.....	23
2.4.	Sistema de volumen de refrigeración variable o flujo de refrigerante variable	25
2.4.1.	Descripción.....	25
2.4.2.	Ventajas	27
2.4.3.	Tipos de sistema de volumen de refrigeración variables	28
2.5.	Tuberías y ducto	28
2.5.1.	Ecuación de continuidad	29
2.5.2.	Caídas de presión en sistemas de tuberías	29
2.5.3.	Diseño de ductos.....	30
2.5.4.	Especificaciones de tuberías.....	32
2.5.5.	Aislamiento de ductos	33
3.	BUENAS PRÁCTICAS EN EL MONTAJE DE EQUIPO DE AIRE ACONDICIONADO CON VRF PARA EDIFICIO DE OFICINAS	35
3.1.	Selección del equipo a utilizar.....	35
3.1.1.	Descripción del equipo	35
3.1.2.	Ventajas del equipo.....	36
3.1.3.	Ubicación de la unidad exterior	37
3.2.	Distribución de las unidades interiores.....	40
3.3.	Diseño de conductos en el edificio	41
3.3.1.	Aislamiento de ductos	42
3.3.2.	Planos de ductos.....	44

3.4.	Cableado y conexiones eléctricas en el edificio	46
3.4.1.	Necesidades de energía.....	47
3.5.	Carga refrigerante	49
3.5.1.	Tipo de refrigerante	49
4.	MANUAL DE REFERENCIA PARA MONTAJE DE EQUIPO DE AIRE ACONDICIONADO DE VRF.....	51
4.1.	Necesidades de confort en el edificio	51
4.1.1.	Tipo de edificio.....	53
4.1.2.	Capacidad de instalación.....	54
4.2.	Planos del montaje	56
4.2.1.	Planos del edificio.....	57
4.2.2.	Planos del sistema montado.....	59
4.3.	Parámetros de control	59
4.3.1.	Temperatura del ambiente.....	59
4.3.2.	Temperatura del aire suministrado	60
4.3.3.	Temperatura del aire de retorno	60
4.3.4.	Humedad relativa.....	61
4.3.5.	Nivel de refrigerante	61
4.3.6.	Consumo de energía	62
4.4.	Capacitación del usuario	62
4.5.	Determinación del mantenimiento preventivo.....	64
4.6.	Documentación del sistema.....	67
	CONCLUSIONES	71
	RECOMENDACIONES.....	73
	REFERENCIAS	75

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

Figura 1.	Carta psicrométrica.....	13
Figura 2.	Estándares de confort.....	19
Figura 3.	Esquema del sistema VRV	26
Figura 4.	Optimización del costo de aislamiento térmico	43

TABLAS

Tabla 1.	Simbología de conductos.....	45
Tabla 2.	Lista de chequeo para la documentación	70

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
cm	Centímetros
°C	Grados centígrados
g	Gramo
H	Horas
mL	Mililitro
mm	Milímetros
%	Porcentaje
+	Positivo
T	Temperatura
t	Tiempo
s	Segundos
V	Volumen

GLOSARIO

AC	Cemento asfáltico.
Aire de extracción	Aire normalmente viciado que se expulsa al exterior.
Aire de recirculación	Aire de retorno que se introduce de nuevo en los espacios acondicionados.
Aire de retorno	Aire procedente de los espacios acondicionados, constituido por el aire en circulación y el aire de expulsión.
Aire exterior	Aire proveniente del ambiente exterior que se introduce en el circuito de climatización.
Carga térmica	La cantidad de calor que debe ser eliminada o agregada a un espacio para mantener una temperatura deseada, considerando las fuentes internas y externas.
Climatización	Proceso de tratamiento al aire que se efectúa a lo largo de todo el año para controlar en los espacios interiores los aspectos de: temperatura, humedad, pureza y velocidad del aire (Carel.es, 2023).

Confort térmico	Condición mental que expresa satisfacción con el ambiente térmico (Weber ES, 2021).
Consumo energético	La cantidad de energía utilizada por un sistema o dispositivo en un periodo determinado.
Demandas térmicas	Las necesidades de enfriamiento o calentamiento de un edificio en función de las condiciones climáticas y las actividades humanas en su interior.
Eficiencia energética	La relación entre la cantidad de energía utilizada y la cantidad de energía producida o convertida en trabajo útil, con el objetivo de minimizar las pérdidas y el consumo innecesario.
Parámetro de operación	Variables controlables en un sistema de refrigeración, como temperatura del agua de enfriamiento, velocidad del compresor y flujo de aire, que influyen en su rendimiento y eficiencia.
Refrigeración	Proceso de tratamiento térmico del aire que controla la temperatura máxima de un ambiente refrigerado.

RESUMEN

El presente trabajo de graduación presenta inicialmente el procedimiento técnico actual para el montaje de equipos de aire acondicionado con sistema de refrigeración variable. En este capítulo se define el diseño y la planificación, la selección de equipos, la instalación de unidades, las conexiones eléctricas y la carga refrigerante que se debe considerar para que el sistema logre proporcionar el confort adecuado en cada uno de los ambientes.

Seguidamente, en el capítulo dos se presentan conceptos fundamentales sobre refrigeración y sistemas de aire acondicionado con VRF, en donde se presenta información documental sobre psicrometría, campo y usos del acondicionamiento de aire, cálculo de cargas térmicas, sistema de volumen de refrigeración variable o flujo de refrigerante variable, por último, se presenta información sobre las tuberías y ductos como la ecuación de continuidad, caídas de presión y el diseño general.

Dentro del capítulo tres se describen las buenas prácticas en el montaje de equipos de aire acondicionado con VRF para edificios de oficinas, este incluye la selección del equipo a utilizar por medio de la descripción de cada uno, las ventajas y la ubicación correcta de la unidad que se coloca en el exterior, se presenta también la distribución de las unidades interiores, el diseño de los conductos en el edificio, cableado, conexiones eléctricas y la carga refrigerante del sistema.

Por último, se presenta el manual de referencia para el montaje de equipos de aire acondicionado con VRF, por medio de la determinación de las necesidades de confort del edificio, los planos de montaje, así como las características que deben cumplir estos, los parámetros de control sobre la temperatura del ambiente, temperatura del aire suministrado, temperatura del aire de retorno, humedad relativa, nivel de refrigerante y consumo de energía. Se presenta el plan de capacitación del usuario, la determinación del mantenimiento preventivo y un plan sobre este y la documentación que debe cumplir el sistema para las buenas prácticas de montaje.

OBJETIVOS

General

Elaborar un manual para las buenas prácticas para montaje de equipo de aire acondicionado con volumen de refrigeración variable para edificios de oficinas.

Específicos

1. Describir la forma técnica actual de montaje de equipo de aire acondicionado con VRF.
2. Definir los conceptos fundamentales sobre la refrigeración y los sistemas de aire acondicionado de volumen de refrigeración variable.
3. Identificar las buenas prácticas en el montaje de equipos de aire acondicionado que satisfagan las necesidades de confort de un edificio de oficinas.
4. Redactar un manual de referencia para el montaje de equipos de aire acondicionado de volumen de refrigeración variable para edificios de oficinas.

INTRODUCCIÓN

En el contexto de una creciente conciencia global sobre la importancia de la eficiencia energética y la sostenibilidad ambiental, los sistemas de refrigeración variable han emergido como elementos fundamentales en la búsqueda de soluciones tecnológicas que minimicen el consumo energético en edificios y maximicen la eficiencia operativa. Estos sistemas, que permiten ajustar la capacidad de enfriamiento en función de las demandas térmicas cambiantes, han experimentado una rápida adopción en una amplia gama de aplicaciones edilicias, abarcando desde espacios residenciales hasta complejos industriales y comerciales.

El presente trabajo de investigación se propone analizar las buenas prácticas asociadas al montaje de sistemas de refrigeración variable en edificios, con un enfoque particular en los aspectos que influyen en la optimización energética y la eficiencia operativa. La necesidad imperante de reducir la huella de carbono y mitigar el impacto ambiental derivado del consumo energético ha conferido una significativa relevancia a la implementación adecuada de estos sistemas, tanto desde una perspectiva técnica como desde la gestión integral de los recursos edilicios.

En este contexto, el estudio se centrará en la exploración de criterios fundamentales para la selección de equipos, la configuración óptima de parámetros de operación, el diseño eficiente de sistemas de control y la integración con otras infraestructuras edificadas, como fuentes de energía renovable y sistemas de gestión energética (Jaramillo, 2010).

A través de esta investigación, se pretende no solo analizar la importancia de la correcta implementación de sistemas de refrigeración variable en edificios, sino también proporcionar una guía comprensiva y actualizada para profesionales del diseño, la ingeniería y la gestión de instalaciones, a fin de promover la adopción generalizada de prácticas que contribuyan a conseguir un entorno construido más eficiente, respetuoso con el entorno y económicamente viable. En última instancia, este estudio aspira a fomentar la toma de decisiones fundamentadas y estratégicas en el ámbito de la refrigeración edilicia, en concordancia con los desafíos y oportunidades que caracterizan al siglo XXI.

1. PROCEDIMIENTO TÉCNICO ACTUAL PARA MONTAJE DE EQUIPO DE AIRE ACONDICIONADO CON VRF

1.1. Diseño y planificación

El diseño y planificación en el proceso actual de montaje de sistemas de aire acondicionado con VRF (volumen de refrigeración variable) es una etapa fundamental que sienta las bases para el éxito del proyecto. Esta fase implica una evaluación exhaustiva de los requisitos de climatización, la elección de los equipos apropiados y la elaboración de un plan detallado para la instalación. El siguiente apartado proporciona una visión detallada de cómo se desarrolla este proceso:

- Evaluación de necesidades de climatización

En la primera fase del diseño y la planificación, se realiza una evaluación minuciosa de las necesidades de climatización del espacio o edificio que se pretende acondicionar mediante el sistema VRF. Esto engloba la determinación de las cargas térmicas, es decir, la cantidad de calor que debe eliminarse o suministrarse al ambiente para mantener niveles de confort. Para ello, se deben tener en cuenta diversos factores, como la orientación del edificio, la cantidad de ocupantes, la presencia de equipos electrónicos, la exposición solar y las condiciones climáticas locales (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2013).

- Diseño de la disposición de unidades

La fase siguiente contempla el diseño de la disposición de las unidades exteriores e interiores en el espacio. Esto abarca la definición de las ubicaciones óptimas para las unidades exteriores, asegurando una correcta ventilación y facilitando el acceso para futuros trabajos de mantenimiento. Además, se planifica la ubicación de las unidades interiores de forma estratégica para garantizar una distribución uniforme del aire acondicionado en todas las áreas del edificio (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2013).

- Dimensionamiento de tuberías y cables

Es imperativo calcular el diámetro y la longitud adecuados de las tuberías de refrigerante y las líneas de comunicación entre las unidades exteriores e interiores. Esto garantiza un funcionamiento eficiente del sistema y minimiza las pérdidas de energía. Un dimensionamiento preciso es crucial para asegurar el rendimiento óptimo del sistema VRF (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2013).

- Consideraciones eléctricas

La fase de planificación incluye la disposición de las conexiones eléctricas, asegurándose de que cumplan con todas las normativas eléctricas locales. Esto engloba la instalación de paneles eléctricos, el tendido de cableado y la conexión de las unidades exteriores e interiores (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2013).

- Configuración del sistema de control

Se establecen las estrategias de control para el sistema VRF, incluyendo horarios de funcionamiento, ajustes de temperatura y modos de operación. Estas decisiones se toman considerando las necesidades específicas del espacio y las preferencias del usuario (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2013).

- Planificación de la instalación

Se elabora un plan detallado que abarca la creación de un cronograma de instalación, la asignación de tareas a los técnicos, la elaboración de una lista de materiales y herramientas necesarios, así como la implementación de medidas de seguridad para garantizar una instalación segura y eficaz (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2013).

Este proceso, integral y meticuloso, asegura que la instalación de un sistema de aire acondicionado con VRF se realice de manera eficiente y precisa, cumpliendo con las necesidades específicas del proyecto y garantizando un rendimiento óptimo del sistema.

1.2. Selección de equipos

Una vez comprensibles las demandas de climatización, se procede a la elección de los equipos VRF más apropiados para el proyecto. Esto incluye la selección de unidades exteriores e interiores, así como la determinación de la capacidad de refrigeración y calefacción de cada unidad. Las decisiones de selección se basan en criterios cruciales como la eficiencia energética, la capacidad de modulación, la calidad de los equipos y su compatibilidad con las

unidades exteriores (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2013).

1.3. Instalación de unidades

La instalación de unidades interiores y exteriores en el montaje de un sistema de aire acondicionado con VRF (volumen de refrigeración variable) es un proceso fundamental para asegurar el funcionamiento eficiente y confiable del sistema. A continuación se describe detalladamente cómo se lleva a cabo esta instalación:

1.3.1. Unidades exteriores

- Selección de ubicación: el primer paso es seleccionar las ubicaciones adecuadas para las unidades exteriores. Estas ubicaciones deben estar bien ventiladas, accesibles para el mantenimiento y cumplir con las regulaciones locales. También se debe considerar la distancia entre las unidades exteriores e interiores para minimizar la longitud de las tuberías de refrigerante.
- Montaje en soportes: las unidades exteriores se montan en soportes nivelados y resistentes que se fijan al suelo o a una estructura. Es esencial que estén correctamente niveladas y aseguradas para evitar vibraciones y ruidos excesivos.
- Conexión de tuberías de refrigerantes: se conectan las tuberías de refrigerante a las unidades exteriores, asegurando un sellado hermético. Es importante evitar cualquier fuga de refrigerante, ya que esto puede afectar el rendimiento del sistema.

- **Conexión de tuberías de drenaje:** se instalan las tuberías de drenaje para evacuar el agua condensada de las unidades exteriores de manera segura. Estas tuberías deben tener una pendiente adecuada para garantizar un flujo constante.
- **Conexión eléctrica:** se realizan las conexiones eléctricas de acuerdo con el esquema eléctrico proporcionado por el fabricante y las regulaciones eléctricas locales. Esto incluye la conexión de cables de alimentación y comunicación.
- **Pruebas iniciales:** antes de poner en funcionamiento las unidades exteriores, se realizan pruebas iniciales para verificar que todas las conexiones estén correctas y que no haya fugas de refrigerante.

1.3.2. Unidades interiores

- **Ubicación estratégica:** se determina la ubicación estratégica de las unidades interiores en función de las necesidades de climatización y la distribución del aire. Estas unidades deben colocarse en lugares que permitan una distribución uniforme del aire acondicionado en todo el espacio.
- **Montaje en pared o techo:** dependiendo del tipo de unidad interior (pared, techo, suelo, *cassette*, entre otros), se procede a su montaje de acuerdo con las especificaciones del fabricante y las regulaciones locales.

- Conexión de tuberías de refrigerante: se conectan las tuberías de refrigerante a las unidades interiores, asegurando un sellado hermético y evitando cualquier pérdida de refrigerante.
- Conexión de drenaje: se instalan las tuberías de drenaje para evacuar el agua condensada de las unidades interiores de manera eficiente.
- Conexión eléctrica: se realizan las conexiones eléctricas de las unidades interiores de acuerdo con el esquema eléctrico proporcionado por el fabricante y las normativas eléctricas locales.
- Pruebas y ajustes: se realizan pruebas para verificar que las unidades interiores funcionen correctamente y se ajustan los parámetros de control, como la dirección y velocidad del flujo de aire.
- Integración de control: si es necesario, se integran las unidades interiores en el sistema de control central del edificio (BMS) para una gestión centralizada.
- Pruebas finales: se realizan pruebas finales en todo el sistema, incluyendo unidades interiores y exteriores, para asegurarse de que todo funcione en conjunto de manera eficiente.

1.4. Conexiones eléctricas

Las conexiones eléctricas en el montaje de un sistema de aire acondicionado con VRF (volumen de refrigeración variable) son una parte crítica de la instalación, ya que permiten que todas las unidades interiores y

exteriores funcionen en conjunto de manera eficiente. A continuación se describe detalladamente cómo se realizan estas conexiones eléctricas:

- Planificación y diseño eléctrico

Antes de comenzar con las conexiones eléctricas, es esencial tener un plan eléctrico detallado. Esto incluye la ubicación de los paneles eléctricos, la ruta de los conductos y la capacidad eléctrica necesaria para el sistema. Este plan se basa en las especificaciones proporcionadas por el fabricante del sistema VRF y debe cumplir con todas las normativas eléctricas locales.

- Instalación de paneles eléctricos

Se instalan los paneles eléctricos principales que alimentarán las unidades exteriores. Estos paneles deben estar ubicados en un lugar accesible y seguro. Se deben seguir las normativas locales para la instalación de paneles eléctricos, incluyendo los tamaños de los conductores y los dispositivos de protección necesarios, como interruptores automáticos y fusibles.

- Conductos y cableado

Se instalan los conductos eléctricos y el cableado que conectará las unidades exteriores e interiores. Los conductos deben ser adecuados para proteger los cables de forma segura y mantenerlos alejados de posibles daños mecánicos o exposición a la intemperie. El cableado debe ser del calibre correcto y tener la capacidad de llevar la carga eléctrica necesaria.

- Conexiones en las unidades exteriores

Se conectan los cables de alimentación desde los paneles eléctricos principales a las unidades exteriores del sistema VRF. Esto incluye la conexión de las fases de alimentación (generalmente L1, L2 y L3), el conductor neutro y el conductor de tierra a las terminales correspondientes en las unidades exteriores. Es fundamental asegurarse de que todas las conexiones estén bien apretadas y protegidas.

- Conexiones en las unidades interiores

Se realizan las conexiones eléctricas en las unidades interiores, siguiendo las instrucciones proporcionadas por el fabricante. Esto generalmente implica la conexión de los cables de comunicación y los cables de alimentación desde las unidades exteriores. También se conectan las fases de alimentación, el conductor neutro y el conductor de tierra a las terminales adecuadas en las unidades interiores.

- Pruebas eléctricas

Después de completar todas las conexiones eléctricas, se realizan pruebas eléctricas exhaustivas para verificar que no haya cortocircuitos, cables sueltos o problemas de conexión. Se utilizan herramientas de medición eléctrica, como multímetros, para verificar la continuidad y la resistencia de los circuitos.

1.5. Carga refrigerante

La carga de refrigerante en el montaje de un sistema de aire acondicionado con VRF es un proceso crucial para garantizar el rendimiento óptimo y la eficiencia del sistema. Para llevar a cabo este proceso de manera adecuada se deben seguir ciertos pasos y pautas de planificación. A continuación se detalla cómo se realiza y planifica la carga de refrigerante en un sistema VRF:

Planificación de la carga de refrigerante:

- Conocimiento de las especificaciones del fabricante: antes de comenzar con la carga de refrigerante, es fundamental tener un profundo conocimiento de las especificaciones proporcionadas por el fabricante del sistema VRF. Esto incluye la cantidad de refrigerante requerida, el tipo de refrigerante a utilizar, las temperaturas de evaporación y condensación recomendadas, y cualquier otro dato relevante.
- Cálculo de la longitud de las tuberías: se debe calcular la longitud total de las tuberías de refrigerante que conectarán las unidades exteriores e interiores. Esto es importante porque la cantidad de refrigerante necesario puede variar según la longitud de las tuberías. Generalmente, se proporciona una tabla en las especificaciones del fabricante que relaciona la longitud de las tuberías con la cantidad de refrigerante requerida.
- Determinación de la carga inicial: la carga inicial se refiere a la cantidad de refrigerante necesaria para llenar las tuberías y las unidades exteriores. Esta cantidad se calcula sumando la longitud de las tuberías y

multiplicándola por la capacidad de refrigerante por metro de tubería, tal como se especifica en las recomendaciones del fabricante.

- Proceso de carga de refrigerante:
- Preparación del refrigerante
- Conexión de las líneas de carga
- Pesaje del refrigerante
- Purga de aire
- Verificación de la carga
- Pruebas de fugas
- Puesta en marcha y ajuste

2. CONCEPTOS FUNDAMENTALES SOBRE REFRIGERACIÓN Y SISTEMAS DE AIRE ACONDICIONADO CON VRF

2.1. Psicrometría

"Psicrometría es la ciencia que trata de las propiedades termodinámicas del aire húmedo y del efecto de la humedad atmosférica sobre los materiales y sobre el confort humano" (Carrier, 1980, p. 111). Esta definición debe ser ampliada para incluir el método de controlar las propiedades térmicas del aire húmedo. Tomando en cuenta esto, se presentan las leyes psicrométricas:

- Cuando el aire seco se satura adiabáticamente, la temperatura se reduce, la humedad relativa se incrementa y la reducción de calor sensible es igual al incremento simultáneo de calor latente.
- Cuando el contenido de humedad en el aire se incrementa adiabáticamente la temperatura se reduce simultáneamente hasta que la presión de vapor corresponde a la temperatura de saturación.
- Cuando cierta cantidad de agua aislada se evapora, se supone que la temperatura final será la adiabática de saturación y no está afectada por convección, por lo que la temperatura de bulbo húmedo será la adiabática de saturación (Hernández, 1997).

2.1.1. Propiedades del aire

Por otra parte, el aire por sí mismo posee propiedades que deben considerarse para el diseño de un sistema de refrigeración, estas son:

- Temperatura de bulbo seco (BS): refiriéndose del aire, la temperatura de bulbo seco y la temperatura indicada con un termómetro normal es la misma.
- Temperatura de bulbo húmedo (BH): es la temperatura húmeda del aire. Para obtener la temperatura de bulbo húmedo se requiere envolver el bulbo del termómetro en un algodón empapado de agua y girarlo rápidamente en el ambiente.
- Temperatura del punto de rocío (PR): es la temperatura en la que la humedad del aire se condensa a presión constante.
- Relación de humedad (W): es la relación entre el peso de vapor de agua en una libra de aire seco, se expresa en granos de agua/libra de aire seco. Se le conoce también como humedad específica.
- Humedad relativa (HR): es la relación de la presión real de vapor de agua en el aire, con la presión de vapor de agua si el aire estuviera saturado a la misma temperatura que el bulbo seco.
- Volumen específico (v): es el volumen de aire por peso de aire seco (ft^3/lb).

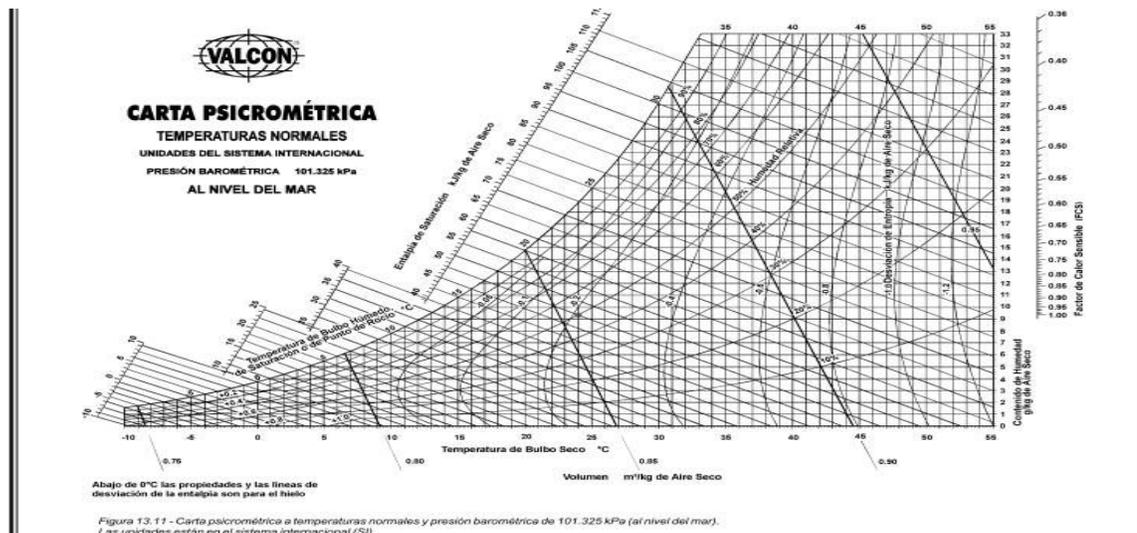
- Entalpía específica (h): es el calor que se encuentra en una unidad de peso de aire seco (BTU/lb) (Argueta, 2015).

2.1.2. Carta psicrométrica

Es la forma gráfica de representar las propiedades del aire y es un instrumento para realizar procesos de acondicionamiento de aire. Para localizar un punto en la carta psicrométrica se deben conocer dos propiedades independientes, que ayudarán a saber la condición del aire y el resto de sus propiedades en ese punto específico. La carta psicrométrica se presenta a continuación:

Figura 1.

Carta psicrométrica



Nota. Se ilustra la carta psicrométrica. Obtenido de B. Noguera (2020). *¿Qué son las cartas psicrométricas?* (<https://www.ingenieriaquimicareviews.com/2020/09/cartas-psicrometricas.html>), consultado el 8 de agosto de 2023. De dominio público.

Cualquier proceso que consista en calentar, enfriar, deshumidificar o humidificar aire puede ser trazado en la carta psicrométrica. Las siguientes afirmaciones aplican:

- Cualquier proceso de enfriamiento o calor sensible se muestra como una línea horizontal en la carta. La relación de humedad y el punto de rocío están constantes en este proceso.
- Cualquier proceso de enfriamiento o calor latente se muestra como una línea vertical. La temperatura de bulbo seco es constante en este proceso.
- Un proceso típico de enfriamiento/des-humidificación se representa como una línea que va de abajo a la izquierda. Este proceso teóricamente se movería horizontalmente a la izquierda hasta que el punto de rocío es alcanzado, y entonces se sigue la línea de saturación hasta el punto final. El proceso actual es más exactamente representado por una línea curva que se mueve abajo y a la izquierda. Esto es debido al proceso de mezcla de algunas partes de la corriente de aire que han alcanzado el punto de rocío con otras partes que se siguen enfriando sensiblemente.
- Un proceso calentamiento/deshumidificación se representa por una línea que crece y se mueve a la derecha. El proceso actual depende del tipo de deshumidificación involucrada, pero el punto final siempre estará encima y a la derecha del punto de inicio (Berg, 2016).

2.2. Campo y usos del acondicionamiento de aire

El acondicionamiento de aire es utilizado para crear condiciones determinadas relacionadas con la temperatura, humedad y calidad del aire, es aplicado para mantener un nivel de confort humano y garantizar el correcto funcionamiento de equipos o aparatos que deben operar bajo condiciones ambientales controladas, además de generar un ambiente apto para el trabajo (Germain, 2018).

El acondicionamiento del aire como proceso consiste en tratar de modo que queden reguladas simultáneamente la calidad del aire, humedad, temperatura y distribución, con el fin de cumplir las condiciones exigidas por el espacio acondicionado en cualquier época del año (Ramírez, 2013).

Para obtener un acondicionamiento de aire eficiente se deben considerar cuatro variables principales: calidad del aire, humedad, movimiento y temperatura.

2.2.1. Componentes del sistema

Para lograr que el sistema de acondicionamiento de aire cumpla con su función es necesario identificar los cambios de temperatura, los cuales se generan por el desplazamiento del aire de una zona caliente a la zona fría. Según la época del año, la pérdida de calor ocurre desde el interior de la habitación hacia el exterior, en el caso del invierno; durante el verano, el calor ingresa desde el exterior debido a que la temperatura interna de las habitaciones o recintos es menor.

Al instalar un sistema de acondicionamiento de aire, este puede lograr una función de calefacción o enfriamiento, debido a que los principios básicos son aplicables a ambos casos. Los elementos que conforman este sistema son:

- Filtro secador: los sistemas de aire acondicionado utilizan un recipiente o filtro secadores para extraer la humedad del sistema. Este elemento se emplea en los sistemas que utilizan válvulas de expansión para controlar el flujo de refrigerantes, encontrándose en la parte de alta presión del sistema, entre el condensador y el compresor.
- Condensador: el compresor produce gas comprimido y lo envía a la parte superior del condensador, en donde el gas comienza a enfriarse. El gas continúa enfriándose y se condensa, mientras va a través de la bobina, en forma serpentina, y se escapa por la base del condensador como líquido de alta presión.
- Ventilador: el ventilador del condensador contribuye con el enfriamiento de los gases cálidos comprimidos que provienen del compresor durante su recorrido por el condensador.
- Válvula de expansión: las válvulas de expansión regulan la cantidad de refrigerantes líquidos que van del condensador al evaporador, en función de la presión de este.
- Tuberías: las tuberías son de aluminio o acero, y algunas tuberías tienen una parte de manguera flexible. Unos transportan el fluido a baja presión y otras a alta presión (Pruebaderuta.com, 2022)

2.2.2. Confort humano

Se considera confort al estado de bienestar físico, mental y social. Depende de factores personales y parámetros físicos que permiten o no que las personas se encuentren bien. Los límites de las condiciones de bienestar varían según edad, sexo, estado físico, aspectos culturales, modos de vida, prácticas cotidianas, actividad que desarrollan, la ropa usada, acostumbramiento a determinado clima o condición, entre otros.

Una de las necesidades fisiológicas más importantes del individuo es mantener el balance entre el calor producido o ganado y el desprendido por el cuerpo humano, que normalmente tiene entre 36.5 ° y 37° C de temperatura. De no mantenerse en ese rango se presentan, de acuerdo con la gravedad del desbalance, complicaciones en la circulación, coma e incluso la muerte.

El cuerpo humano se adapta al medio hasta un cierto límite, superado el cual una forma de atender los requerimientos higrotérmicos es mediante el uso de acondicionamiento convencional, pero no es lo ideal porque conduce a un derroche de energía no renovable y contaminante, es caro y no siempre se consigue un real confort.

2.2.3. Estándares de confort

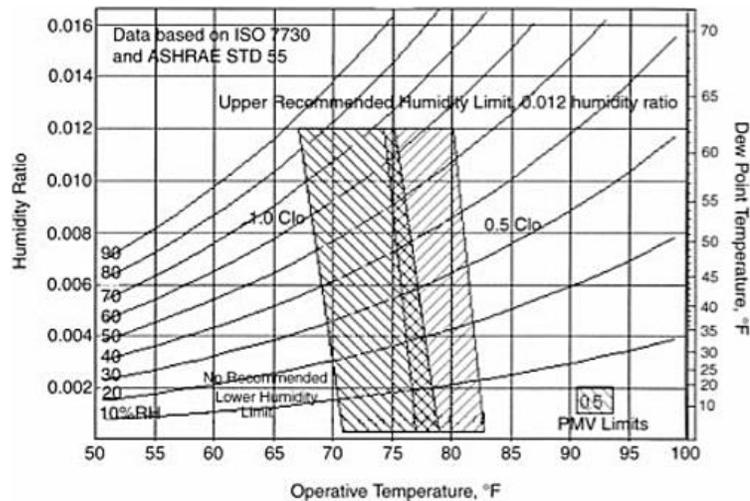
En un edificio el confort térmico debe ser considerado como uno de los parámetros más importantes a respetar. Para ello se adoptan distintas soluciones de diseño y constructivas que garantizan el ansiado bienestar:

- Aislamiento de fachadas: la superficie exterior del edificio es la que se somete a las inclemencias del tiempo, por lo que un aislamiento bien conseguido puede ahorrar muchos quebraderos de cabeza en la búsqueda del confort térmico.
- Elección de materiales: tener en cuenta el clima en el que se va a ubicar el edificio ayudará a escoger: la piedra y el ladrillo se han de utilizar en climas cálidos, y la madera en climas mucho más fríos.
- Correcta colocación de ventanas y puertas: además del aislamiento de fachadas, la correcta colocación y elección de puertas, ventanas y otros elementos resulta fundamental para mantener un correcto aislamiento térmico. La correcta instalación, que evite la aparición de puentes térmicos, garantizará una temperatura interna regulada con menor consumo de energía. Además, teniendo en cuenta la importancia del confort acústico en arquitectura, se debe atribuir a las ventanas bien colocadas, de buena calidad y en óptimas condiciones, la virtud de proporcionar otro tipo adicional de confort que prevea el ruido.
- Ventilación garantizada: los estándares de calidad del aire con frecuencia tienen que ver con una correcta ventilación. Evitar acumulaciones de CO₂ y de humedad que pueda propiciar la aparición de mohos son solo otras de las ventajas de garantizar la ventilación (que no las corrientes de aire) de una estancia o vivienda.
- Valoración de la orientación del edificio: aunque puede ser algo difícil de modificar, lo cierto es que colocar ventanas, toldos o balcones debe ser una decisión tanto estética como técnica, ya que no todos los puntos cardinales ofrecen el mismo grado de calor, frío o vientos dominantes.

El estándar 55-2004 de ANSI/ASHRAE especifica condiciones aceptables para la mayoría de los ocupantes (80 %) expuestos a las mismas condiciones.

Figura 2.

Estándares de confort



Nota. Estándares de confort. Obtenido de WBDG (2023). *La sostenibilidad de un edificio.* (http://www.wbdg.org/resources/env_sustainability.php?r=envelope), consultado el 8 de agosto de 2023. De dominio público.

Las zonas sombreadas se conocen como zonas de confort (roja para verano, azul para invierno), sin embargo, existen condiciones para que la zona de confort sea funcional:

- La zona de confort se aplica a personas sedentarias.

- Para aplicar la zona de confort se debe considerar la vestimenta, tanto en verano como invierno.
- El movimiento del aire no deberá ser mayor a 30 pies por minuto en invierno ni de más de 50 pies por minuto en verano.

2.2.4. Diseño del sistema de acondicionamiento de aire

Para calcular la carga de enfriamiento de un espacio, se requiere información de diseño detallada de la edificación e información climática para las condiciones de diseño seleccionadas. Generalmente, los siguientes pasos son importantes:

- Características de la edificación: se deben obtener las particularidades y todos los rasgos del edificio como: materiales de construcción, tamaño de los componentes, colores externos de fuentes y formas, que son normalmente determinados a partir de los planos de la edificación y especificaciones.
- Configuración: se deben determinar la ubicación, orientación y sombra externa de la edificación a partir de los planos y especificaciones. La sombra de edificaciones adyacentes puede ser determinadas por un plano del sitio o visitando el sitio propuesto. Su permanencia probable debe ser cuidadosamente evaluada de ser incluida en los cálculos.
- Condiciones exteriores de diseño: hay que precisar la información climática apropiada y seleccionar el contexto de diseño exterior. La condición climática puede ser obtenida de estudios o estadísticas de alguna estación meteorológica.

- Condiciones de diseño interior: se deben determinar los parámetros de diseño interior tales como temperatura de bulbo seco interior, temperatura interior de bulbo húmedo y tasa de ventilación; incluyendo variaciones permisibles y límites de control.
- Rutina de operación: el diseñador también se basará en la rutina de iluminación, ocupantes, equipo interno, aplicaciones y procesos que contribuyan a incrementar la carga térmica interna, determinando la probabilidad de que el equipo de refrigeración sea operado continuamente o apagado durante periodos de no ocupación (ejemplo: noches y/o fines de semana).
- Fecha y tiempo: se selecciona el tiempo del día y el mes para realizar los cálculos de la carga de enfriamiento. Frecuentemente varias horas del día y varios meses son requeridos.
- Consideraciones adicionales: el diseño y el tamaño de los sistemas de aire acondicionado central requieren más que el cálculo de la carga de enfriamiento en el espacio a ser acondicionado (Mundo HVAC & R, 2008)

El tipo de sistema de acondicionamiento de aire, energía de ventilación, ubicación del ventilador, pérdida de calor de los ductos y ganancia, filtración de los ductos, sistemas de iluminación por extracción de calor y tipo de sistema de retorno de aire, todos afectan la carga del sistema y el tamaño de los componentes.

2.3. Cálculo de cargas térmicas

El cálculo de cargas térmicas es el estudio que se lleva a cabo por parte de profesionales para reconocer las necesidades de climatización de un espacio, independientemente de la finalidad del mismo, es decir, ya sea para el uso familiar, comercial o industrial (S&P, 2020).

2.3.1. Características de la edificación

Las características de la edificación que son relevantes para determinar la carga térmica son: el tipo de paredes, el tipo de cubierta y las personas.

Se debe determinar la ubicación, orientación y sombra externa de la edificación a partir de los planos y especificaciones. La sombra de edificaciones adyacentes puede ser determinada por un plano del sitio o visitando el sitio propuesto. Su permanencia probable debe ser cuidadosamente evaluada de ser incluida en los cálculos (ACR Company, 2020).

2.3.2. Tipo de paredes interiores

Hay que precisar la información climática apropiada y seleccionar el contexto de diseño exterior. La condición climática puede ser obtenida de estudios o estadísticas de alguna estación meteorológica.

Se deben determinar los parámetros de diseño interior tales como temperatura de bulbo seco interior, temperatura interior de bulbo húmedo y tasa de ventilación, incluyendo variaciones permisibles y límites de control.

El diseñador también se basará en la rutina de iluminación, ocupantes, equipo interno, aplicaciones y procesos que contribuyan a incrementar la carga térmica interna, determinando la probabilidad de que el equipo de refrigeración sea operado continuamente o apagado durante periodos de no ocupación (ejemplo: noches y/o fines de semana).

El diseño y el tamaño de los sistemas de aire acondicionado central requieren más que el cálculo de la carga de enfriamiento en el espacio a ser acondicionado.

El tipo de sistema de acondicionamiento de aire, energía de ventilación, ubicación del ventilador, pérdida de calor de los ductos y ganancia, filtración de los ductos, sistemas de iluminación por extracción de calor y tipo de sistema de retorno de aire, todos afectan la carga del sistema y el tamaño de los componentes (ACR Company, 2020)

2.3.3. Determinación de la carga térmica

En época de verano se preverá la existencia de cargas térmicas sensibles debidas a la diferencia de temperatura y a la radiación térmica, y cargas latentes por aportación de humedad al aire. Por lo tanto:

- Carga térmica sensible por transmisión a través de cerramientos opacos. Para calcularla utilizaremos la fórmula: $Q = K S DTE$, donde DTE es la diferencia de temperaturas, corregida según la orientación del muro y su peso.
- Carga sensible por transmisión a través de cerramientos traslúcidos. En este caso no se corrige en función de la orientación, ya que la radiación

solar se cuantifica como carga aparte. La fórmula para este caso es: $Q = K S t$, donde t es la diferencia de temperaturas entre la del exterior del cerramiento y la interior.

- Cargas térmicas sensible por radiación solar. La radiación solar atraviesa superficies transparentes y traslúcidas y calienta las superficies interiores, por lo que aumenta la temperatura interior de la estancia. Se obtiene a través de la fórmula: $Q = S R f$, donde R es la radiación solar en kcal/h m² tabulada para la latitud en la que esté situada la vivienda de cálculo, y f es el factor de corrección de la radiación en función del vidrio.
- Carga térmica sensible por infiltración o ventilación de aire exterior. Se determina a través de la fórmula: $Q = V 0,29 t$, donde V es el caudal de aire infiltrado o de ventilación, 0,29 es el calor específico del aire y t es la diferencia de temperatura entre el exterior y el interior.
- Carga térmica sensible y latente por ocupación. Se obtiene de multiplicar una valoración del calor sensible emitido por la persona tipo por el número de personas previstas en la estancia. Cabe decir que la cantidad de calor emitido por persona se extrae de una tabla en la que se tiene en cuenta el tipo de estancia. Datos que se pueden extraer del RITE.
- Carga térmica sensible generadas por la iluminación. En este caso se considera que la potencia de la lámpara se transforma en calor sensible, así para lámparas de descarga $Q = \text{Potencia (kW)} \cdot 860$ y para lámparas de descarga $Q = 1,25 \text{ Potencia (kW)} \cdot 860$
- Carga latente por ventilación o infiltración de aire exterior. Se determina con la fórmula: $Q = V 0,72 w$, donde w es la diferencia de humedad

absoluta entre el exterior y el interior y 0,72 es el producto de la densidad del aire por el calor latente de vaporización del agua.

Para obtener la carga térmica total de refrigeración habrá que sumar las diferentes cargas latentes y sensibles expuestas anteriormente.

2.4. Sistema de volumen de refrigeración variable o flujo de refrigerante variable

El VRV (volumen de refrigerante variable) es un sistema de climatización para grandes superficies como hoteles, hospitales y centros comerciales. Su nombre viene del inglés VRF (variable refrigerant flow), por lo que se puede encontrar como VRV o VRF (González, 2021)

2.4.1. Descripción

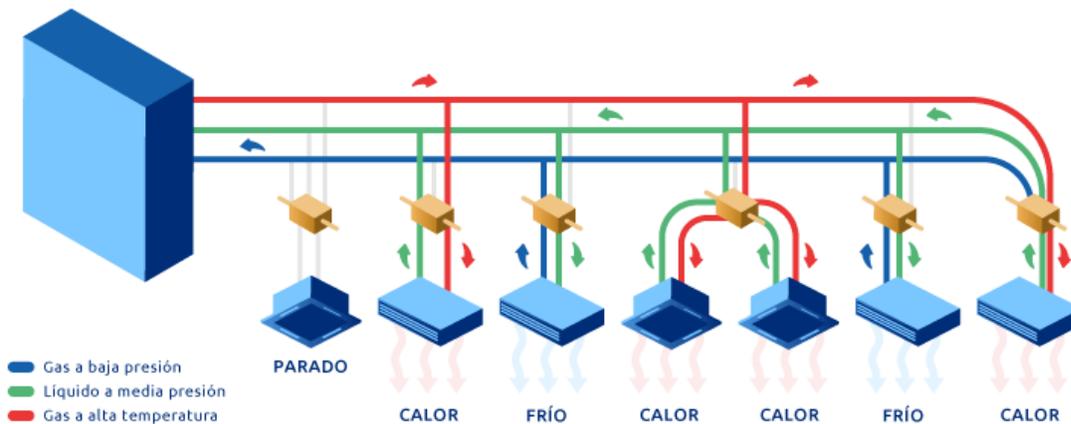
El VRV se compone de una unidad exterior que se sitúa en la azotea del edificio y que se conecta por medio de tubos de cobre a muchas unidades interiores ubicadas dentro del local. Existen sistemas de VRF de dos tubos que solo generan frío o calor, pero no ambos a la vez; y de tres tubos, que son aires acondicionados con frío y calor, perfectos para el invierno y el verano, pero más costosos.

El funcionamiento del VRF es bastante similar al de cualquiera de los sistemas de aire acondicionado tradicionales: un gas refrigerante (normalmente gas R32) es sometido a cambios de presión y, con ello, de temperatura, para absorber el calor del aire de la sala y expulsarlo al exterior y, al contrario, si trabaja en modo calor.

El sistema VRV cuenta con una unidad exterior (en la que se encuentra el compresor y el condensador), unas tuberías de cobre por donde circula el gas refrigerante y varias unidades interiores (que contienen la válvula de expansión y el evaporador).

La gran diferencia con un sistema *multisplit* es que el sistema VRV cuenta con una caja de control entre la unidad exterior y las interiores que regula el flujo del refrigerante. Esto lo hace gracias a que los sensores del termostato de las unidades interiores mandan señales a la caja de control según la demanda de calor o frío para que esta regule el refrigerante (González, 2021).

Figura 3.
Esquema del sistema VRV



Nota. Esquema del sistema VRV. Obtenido de O. González (2021). ¿Qué es un sistema de refrigeración variable? ([https://preciogas.com/instalaciones/equipamiento/aire-acondicionado/vrv#:~:text=El%20VRV%20\(Volumen%20de%20Refrigerante, encontrar%20como%20VRV%20o%20VRF\)](https://preciogas.com/instalaciones/equipamiento/aire-acondicionado/vrv#:~:text=El%20VRV%20(Volumen%20de%20Refrigerante, encontrar%20como%20VRV%20o%20VRF))), consultado el 8 de agosto de 2023. De dominio público.

2.4.2. Ventajas

El sistema VRF tiene bastantes ventajas frente a los aires acondicionados tradicionales y a las enfriadoras de agua utilizadas en grandes superficies. A continuación se muestran algunas de estas:

- Zonificación independiente: cada unidad interior se puede climatizar con una temperatura diferente, e incluso tener algunas encendidas y otras apagadas.
- Modo refrigeración y calefacción al mismo tiempo: el modelo de 3 tubos junto a los compresores *inverter* hace que se puedan utilizar algunas unidades internas para calentar y otras para refrigerar simultáneamente.
- Gran ahorro energético: la caja de control envía solo el refrigerante que cada unidad necesita y eso hace que el compresor trabaje menos. Además, la tecnología de recuperación de calor permite que se ahorre aún más.
- Equipo poco pesado: su instalación es bastante sencilla gracias a su poco peso en comparación con las enfriadoras de agua. Además, estas últimas funcionan con un sistema agua-aire, por lo que necesitan ventilocomvertor.
- Control avanzado: desde un único punto se pueden controlar multitud de unidades interiores (González, 2021).

2.4.3. Tipos de sistema de volumen de refrigeración variables

Los sistemas VRF han ido evolucionando, es por ello que es posible diferenciar entre dos tipos en función de su unidad exterior:

- VRF axial: es el sistema tradicional en el que la unidad exterior se instala en la azotea y expulsa el aire mediante ventiladores axiales. Este permite regular cada aparato interior de forma independiente y puede utilizar cualquier tipo de unidad interior. El principal problema que puede presentar este sistema es que la instalación puede no estar permitida por la comunidad. Además, no dispone de la presión suficiente para expulsar el aire a través de rejillas.
- VRF centrífugo: es un sistema novedoso bastante más compacto, en gran medida gracias a su ventilador centrífugo. Este se puede instalar bajo un falso techo y así cumplir con la ordenanza urbanística, por lo que no es necesario pedir permiso a la comunidad de vecinos si se trata de un local comercial situado en un edificio (González, 2021).

2.5. Tuberías y ducto

Son utilizados para realizar el transporte de fluidos en una red de distribución, también son utilizados para llevar un fluido de trabajo de un lugar a otro. Los ductos por su parte se utilizan para gases a baja presión y la tubería se utiliza cuando el gas o el líquido que transporta posee una presión considerable (Argueta, 2015)

2.5.1. Ecuación de continuidad

La ecuación de continuidad es una ley física que establece que la cantidad de masa o fluido que entra en un sistema cerrado es igual a la cantidad de masa o fluido que sale del sistema en el mismo período de tiempo (Energía Nuclear.net, 2023).

En términos matemáticos, la ecuación de continuidad se expresa mediante la siguiente fórmula:

$$Q_a = A_1 * v_1 = A_2 * v_2$$

Donde:

Q_a = caudal o flujo volumétrico, m³/s

A = área del tubo o ducto donde pasa el fluido, m²

V = velocidad del fluido en el área seleccionada, m/s

2.5.2. Caídas de presión en sistemas de tuberías

Dentro de los sistemas de tuberías existe una pérdida de presión debida a la fricción, por la viscosidad o bien por las paredes del mismo ducto, lo que crea una resistencia a la circulación del flujo. Específicamente para ductos de sistemas de aire acondicionado se presenta un flujo turbulento. La ecuación para el cálculo de las caídas de presión por fricción estática es:

$$H_f = \frac{f * L * V^2}{D * 2g}$$

Donde:

Hf= pérdida de presión por fricción

f = factor de fricción

L = longitud

V = velocidad del fluido

D= diámetro

g= gravedad

2.5.3. Diseño de ductos

Los ductos de ventilación utilizados en sistemas de tipo residencial, comercial e industrial están diseñados para conducir el aire de inyección o extracción en dichas aplicaciones. En su cálculo y diseño se ha de cuidar tanto que se garantice la adecuada aportación de caudal, como otros criterios no menos importantes (minimizar el consumo eléctrico en los motores de los ventiladores o reducir al máximo el ruido producido por los motores, donde este podría ocasionar molestia a los usuarios).

- Método de igual fricción

El método de fricción constante consiste en calcular la pérdida de carga lineal en el tramo de la red más resistente (*a priori*, el más largo). Después, saliendo de la reja más desfavorecida se equivale la pérdida de carga por metro en cada uno de los otros tramos, lo que permite conocer su diámetro. Se obtiene así una red directamente equilibrada. Este método de fricción constante sirve en particular cuando las pérdidas lineales de carga se caracterizan por longitudes equivalentes a los accidentes (Marcé, 2017).

Los pasos de cálculo serán los siguientes:

- Se establece la velocidad o la pérdida de carga en el primer tramo (de máximo caudal). Se fija esta velocidad para determinar, con la ayuda del diagrama de pérdida de carga unitaria, el valor de la pérdida de carga unitaria deseada.
- Se comprueba la adecuación del valor escogido, calculando si la pérdida de carga escogida será adecuada o no, y si la velocidad no generará problemas de ruido o vibraciones, y sobre todo si el resultado permite el uso de un ventilador de entre los disponibles en el mercado.
- Se calculan los diámetros de cada tramo, puesto que caudal y pérdida de carga se conocen para cada uno de ellos y usando las tablas adecuadas para el tipo de conducto y las condiciones de utilización.
- Se calculan las pérdidas de carga singulares de la instalación.
- Se optimiza el método mediante iteraciones, intentando siempre minimizar los diámetros sin incrementar las pérdidas de carga. Se averigua que la pérdida de carga acumulada en cada uno de los recorridos posibles del aire hacia los difusores sea la misma que en camino crítico (aquél que más pérdida de carga da). Esto asegurará que circule el caudal deseado en cada difusor (Marcé, 2017)

- Método de recuperación estática

El método de recuperación estática es uno de los métodos más complicados, no por la complejidad de las ecuaciones sino por la repetición de los cálculos que hay que hacer para poder dimensionar cada tramo. Es un método muy largo y repetitivo que, hecho a mano, tomaría bastante tiempo, por las iteraciones que se hacen hasta encontrar el diámetro óptimo para cada tramo.

El objetivo de este método es obtener una presión estática casi constante a la entrada de cada una de las derivaciones de la red, para definir lo mejor posible el caudal de las mismas. A diferencia del método de fricción constante, se conserva la presión estática a lo largo de la red, y no la pérdida de carga. Obtener la presión estática deseada en los difusores garantiza que el caudal impulsado sea el buscado (Marcé, 2017).

2.5.4. Especificaciones de tuberías

La selección de tubería depende del trabajo y las condiciones a las que será sometida, las que se deben tomar en cuenta son:

- El fluido que circulará por la tubería.
- La temperatura de trabajo.
- La presión de trabajo.
- La exposición a factores externos como la corrosión u oxidación (Argueta, 2015).

Existen normas como las ASTM (American Society of Testing Materials) para las regulaciones físicas sobre las tuberías de acero y cobre, es importante resaltar que el uso de estas y el cumplir con las especificaciones de la norma queda a discreción del diseñador.

2.5.5. Aislamiento de ductos

Para aislar tuberías de sistemas de acondicionamiento de aire, la opción más utilizada actualmente es de materiales hechos de espuma elastomérica, como el armaflex.

Se utiliza para temperaturas bajas y medias (-40 a 115 °C) y es de fácil instalación, pero es sensible a la luz ultravioleta, por lo que se debe proteger de los rayos del sol (Argueta, 2015).

3. BUENAS PRÁCTICAS EN EL MONTAJE DE EQUIPO DE AIRE ACONDICIONADO CON VRF PARA EDIFICIO DE OFICINAS

3.1. Selección del equipo a utilizar

Sobre las buenas prácticas en el montaje de equipos de aire acondicionado con VRF para edificios de oficinas, se debe seleccionar equipos acordes a las necesidades específicas del recinto, además de identificar la ubicación de la unidad en el exterior, con lo que se permite el óptimo funcionamiento de este.

3.1.1. Descripción del equipo

El sistema de aire acondicionado VRF tiene como objetivo simplificar el flujo de energía para eliminar conversiones intermedias, por lo que se mantiene un proceso de aire-gas-aire, se compone generalmente de:

- Unidad exterior del sistema VRF

Aunque similar a una unidad exterior de aire acondicionado convencional, es más compleja. Utiliza energía eléctrica y aire exterior para evaporar/condensar un gas, que luego se distribuye a través de tuberías.

- Distribución de gas del sistema de aire acondicionado VRF

Esto se realiza por medio de tuberías de cobre aisladas, las cuales se encargan de distribuir el gas refrigerante por toda la instalación.

- Unidades interiores del sistema de aire acondicionado VRF

En estas unidades tiene lugar el proceso de evaporación/condensación del gas, intercambiando energía térmica con el aire y, por lo tanto, enfriándolo o calentándolo.

En un sistema VRF convencional, es posible seleccionar la temperatura deseada en cada unidad interior o mantener algunas encendidas mientras otras están apagadas. Un sistema de control electrónico se encarga de operar las válvulas de expansión según las instrucciones. La única limitación es que no es posible demandar calor en una unidad interior y frío en otra, debido a las dos tuberías de gas refrigerante.

Para abordar esta limitación, se desarrolló el sistema de 3 tubos, que permite utilizar algunas unidades en modo frío mientras otras funcionan en calefacción. Aunque no es común, se utiliza en situaciones especiales, como salas con grandes cargas térmicas internas.

3.1.2. Ventajas del equipo

Los sistemas de aire acondicionado VRF se promocionan como soluciones altamente eficientes en términos de ahorro energético debido a varias razones:

- Tecnología *inverter*: estos sistemas siempre incorporan al menos un compresor *inverter*, lo que les permite modular la generación de calor o frío, según la demanda sin necesidad de depósitos de inercia u otros componentes intermedios que suelen causar pérdidas de energía.
- Sistema de control avanzado: la unidad exterior de los sistemas VRF es capaz de detectar cuántas unidades interiores están en funcionamiento en todo momento y ajustar la operación en consecuencia. Esto significa que solo se activarán uno o más módulos exteriores si es necesario, e incluso el sistema puede detenerse por completo si no hay unidades interiores en funcionamiento.
- Eficiencia en el flujo de energía: comparado con sistemas más antiguos, los sistemas VRF tienen menos conversiones intermedias de energía antes de enfriar o calentar el aire, lo que reduce las pérdidas de energía.
- Sin necesidad de bombas: a diferencia de los sistemas aire-agua, los sistemas VRF no requieren bombas adicionales, ya que el compresor se encarga de circular el gas por la instalación. Esto reduce aún más el consumo de energía y evita la necesidad de componentes adicionales como las bombas de agua.

3.1.3. Ubicación de la unidad exterior

El proceso de instalación de sistemas VRF debe ser ejecutado por técnicos capacitados, quienes deben completar programas de formación en centros de entrenamiento reconocidos, donde se obtienen certificaciones para la instalación, puesta en marcha, diagnóstico y mantenimiento de estas

tecnologías. A continuación se presenta una guía general para la instalación de un sistema de flujo de refrigerante variable:

- Recepción y revisión de los equipos al llegar a la obra.
- Transporte y colocación de las unidades interiores utilizando las herramientas y equipos adecuados.
- Protección de las unidades interiores con plástico hasta que se realice la conexión a los conductos.
- Instalación de soportes para tuberías de refrigeración y drenaje de las unidades interiores.
- Colocación de las tuberías en su ubicación final, asegurándose de dejar al descubierto los puntos donde se realizarán las conexiones. Se debe aplicar aislamiento y considerar dobleces y expansiones en las uniones para reducir la necesidad de soldadura y el uso de accesorios.
- Configuración de la canalización para la alimentación eléctrica y el control de los equipos.
- Realización de la soldadura con atmósfera inerte de nitrógeno en las tuberías de cobre para prevenir la oxidación.
- Posicionamiento de la unidad exterior sobre una base adecuada.

- Conexión mecánica y de control en unidades interiores y exteriores, utilizando abocinados (*flaring*) en las interiores y soldadura en las exteriores, siguiendo las especificaciones del fabricante.
- Realización de una prueba de hermeticidad para detectar posibles fugas en las uniones. Se presuriza todo el sistema con nitrógeno a 550 psig durante al menos 24 horas para asegurar la estanqueidad del VRF instalado.
- Ejecución del procedimiento de vacío utilizando el método de triple evacuación. Se requiere un valor de vacío de 500 micrones durante una hora para eliminar la humedad del sistema.
- Carga adicional de refrigerante utilizando el vacío disponible en el sistema; la cantidad restante se añade durante la puesta en marcha.
- Durante la puesta en marcha, la unidad exterior asigna automáticamente direcciones a las unidades interiores conectadas. Se deben realizar ajustes específicos para cada modelo de unidad interior y exterior según las condiciones de funcionamiento.
- El mantenimiento preventivo debe incluir la limpieza de los intercambiadores de calor (serpentines) y filtros de unidades interiores, así como la inspección del estado del aislamiento térmico y el ajuste de las conexiones eléctricas y de control. No es necesario ajustar la carga de refrigerante, ya que se suministra de acuerdo con el proyecto durante la instalación.

- Los mantenimientos correctivos, que solo deben ser realizados por personal certificado, se llevan a cabo cuando se detectan códigos de error en los controles remotos del sistema. Si se experimenta un mal funcionamiento sin códigos de error, se utiliza una interfaz para monitorear y diagnosticar el sistema.

3.2. Distribución de las unidades interiores

Para lograr una distribución de aire más eficiente, es esencial realizar cálculos precisos de la carga de enfriamiento, también conocida como carga térmica, en una amplia gama de entornos, desde residenciales hasta industriales, institucionales, gubernamentales y comerciales. Es fundamental tener en consideración los siguientes elementos:

- Información climática local.
- Características físicas de las estructuras, incluyendo sus dimensiones.
- Orientación de los edificios y la dirección de las paredes de los espacios que se van a acondicionar.
- Momento del día en el que la carga térmica alcanza su punto máximo.
- Espesor y propiedades de los materiales aislantes utilizados.
- Cantidad de sombra proporcionada por ventanas y otros elementos.
- Densidad de ocupantes en el área.

- Fuentes internas de calor, como equipos electrónicos o iluminación.
- Requerimientos de ventilación.
- Características específicas de los materiales de construcción, incluyendo el tamaño de sus componentes y los colores utilizados en la envolvente del edificio.
- La fecha en que se efectúan los cálculos de la carga térmica, considerando datos de varias horas y meses para una evaluación completa.
- Estos factores son esenciales para asegurar una distribución efectiva del aire acondicionado en cualquier tipo de edificación, optimizando el rendimiento y la comodidad de los ocupantes.

3.3. Diseño de conductos en el edificio

Los parámetros relacionados con el confort de las personas, la circulación y el movimiento del aire, se convierten en elementos cruciales para orientar el diseño de conductos dentro de los edificios. No obstante, es fundamental tener en cuenta que las decisiones de diseño se ven significativamente influenciadas por las consideraciones estructurales y los requisitos funcionales inherentes a la edificación.

Los edificios comerciales están contruidos de manera que la instalación de conductos para la distribución de aire se convierte en un desafío, debido a la importancia del espacio disponible, tanto en términos de techos como de suelos. Cualquier obstáculo puede tener un impacto significativo en la eficiencia

de la distribución de aire en el área. En situaciones de este tipo suele ser necesario recurrir a un sistema de descarga simétrica.

Cuando se trata de remodelar estructuras existentes, el diseñador del sistema de aire acondicionado enfrenta la tarea de adaptar el diseño al nuevo contexto comercial, lo que puede implicar una inversión considerable de esfuerzo. Si no es factible implementar el sistema ideal, se debe realizar una cuidadosa selección y disposición del equipo de difusión de aire, considerando detenidamente las especificaciones técnicas proporcionadas por los fabricantes, aunque en ocasiones esto no resulta suficiente. En tales casos, la experiencia en el diseño de sistemas de distribución de aire se convierte en un recurso invaluable.

En el proceso de ventilación de espacios, recintos o equipos, ya sea mediante la introducción de aire o su extracción, es común que se deban utilizar conductos de diversas longitudes y configuraciones. El flujo de aire a través de estos conductos implica una pérdida de energía por fricción con las superficies internas, cambios de dirección y obstáculos presentes en su recorrido. La optimización de la instalación busca minimizar esta pérdida de energía

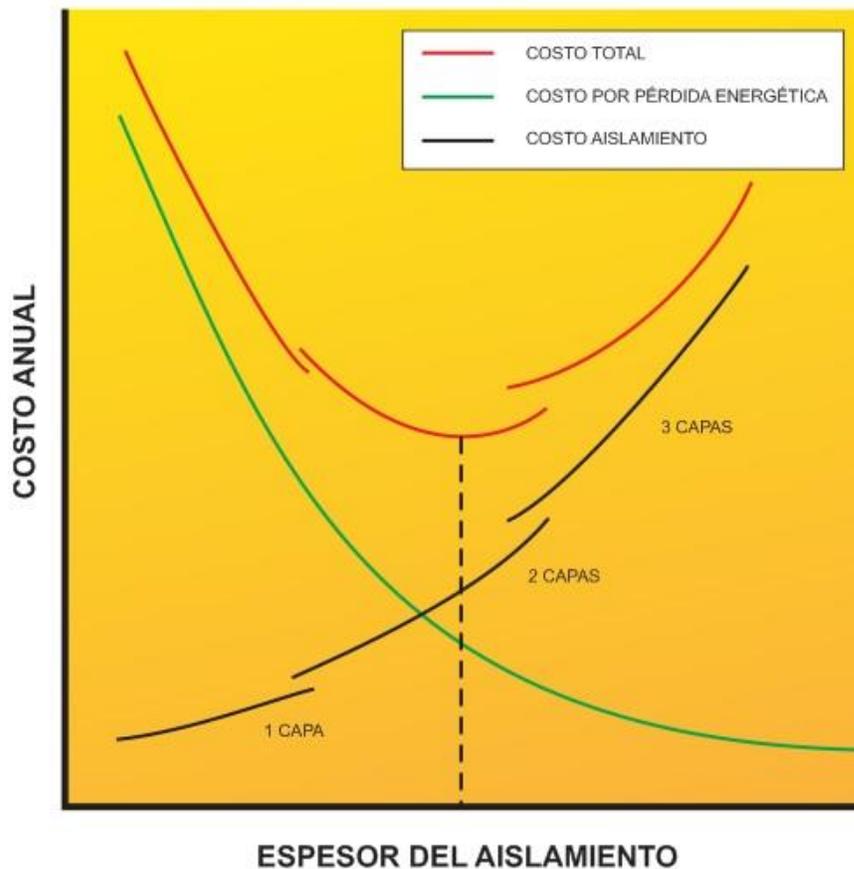
3.3.1. Aislamiento de ductos

El adecuado control de la pérdida de calor debido a las interacciones térmicas entre el conducto y su entorno representa un aspecto fundamental en el diseño eficiente de sistemas de conductos de aire. La selección de los materiales tanto para el ducto en sí como para el aislamiento utilizado en dicho sistema se rige por varios factores determinantes:

- Optimización del consumo energético: el espesor del aislamiento debe ser cuidadosamente calculado de manera que su costo no resulte excesivo, al mismo tiempo que contribuya significativamente a la reducción del consumo energético del sistema. Esto implica un equilibrio crucial (consultar figura 1).

Figura 4.

Optimización del costo de aislamiento térmico



Nota. Descripción de la relación del costo anual según el espesor del aislamiento. Obtenido de E. Puerto (2015). *Aislamiento en conductos de aire*. (<https://efrainpuerto.com/2015/01/13/4-4-aislamiento-en-conductos-de-aire/>), consultado el 3 de junio de 2023. De dominio público.

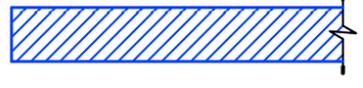
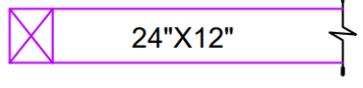
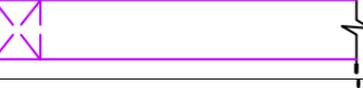
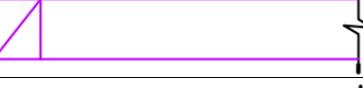
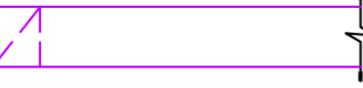
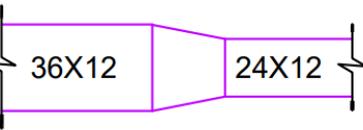
- Protección: el aislamiento empleado debe garantizar que no haya posibilidad de contacto entre las personas y la superficie del ducto, evitando así posibles quemaduras u otras lesiones.
- Control de condensación: la diferencia de temperatura entre el aire transportado en el conducto y el ambiente circundante puede ocasionar la condensación de humedad en la superficie del ducto. En situaciones donde la temperatura del conducto sea igual o inferior al punto de rocío de la temperatura exterior, se hace necesario aislar adecuadamente el ducto para prevenir este fenómeno.
- Control de ruido: se requiere la implementación de estrategias de aislamiento que reduzcan los niveles de ruido generado por la velocidad del aire en el interior del conducto.
- Protección contra incendios: el aislamiento empleado debe contar con propiedades específicas que permitan frenar la propagación del fuego en caso de un evento de este tipo.

3.3.2. Planos de ductos

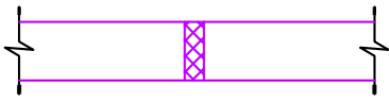
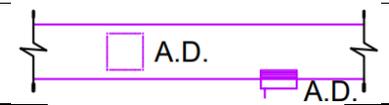
Es necesario que, luego de definido el tipo de ducto que será utilizado en la instalación, se realice un plano en donde se indique el recorrido exacto de los ductos, ubicación de transiciones, conexiones, compuertas, difusores y termostato. Este diseño deberá ser acoplado en específico al edificio para satisfacer sus necesidades de confort. La simbología de los planos se presenta a continuación:

Tabla 1.

Simbología de conductos

Símbolo	Descripción
	Ducto metálico forrado con aislante existente a mantener
	Ducto para demoler
	Ducto de suministro nuevo
	Ducto de retorno nuevo
	Ducto de suministro: codo sube descripción de dimensión primer número=lado visto en planta segundo número=lado no visto dimensiones en pulgada
	Ducto de suministro - codo baja
	Ducto de extrac./retorno - codo sube
	Ducto de extrac./retorno - codo baja
	Transición de lados Talud mínimo = 15 Talud máximo = 45 Dimensiones en pulgadas
	Conducto de acero galvanizado con aislamiento acústico
	Compuerta de balance manual

Continuación de la tabla 1.

	Conexión flexible
	Compuerta de acceso
 <p>SD-1 (CODIGO PLANO) 10X10 (CUELLO) 94 (L/S)</p>	Difusor o rejilla patrón de aire mostrado en planta
	Termostato

Nota. Descripción de los símbolos que se utilizan en un plano de conductos de aire acondicionado. Elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

3.4. Cableado y conexiones eléctricas en el edificio

Los sistemas de aire acondicionado y refrigeración residenciales funcionan con una alimentación eléctrica de 110 y 220 voltios, mientras que los sistemas comerciales o industriales, además de utilizar 110 y 220 V, pueden requerir voltaje trifásico para sus componentes, motores y compresores, especialmente en aplicaciones como cámaras frigoríficas y unidades de aire acondicionado tipo paquete, divididas, entre otras. A continuación se detallan algunos puntos relevantes a considerar:

- Es esencial tener un conocimiento detallado de los aspectos eléctricos del proyecto antes de proceder con la instalación de un sistema de aire acondicionado o refrigeración.
- Se debe obtener información precisa acerca de las especificaciones de fábrica de los equipos en funcionamiento. Generalmente, esta información se encuentra en una placa técnica adjunta a la unidad condensadora o evaporadora, donde se detallan datos como marca,

modelo, capacidad, rango de voltaje, amperaje, tipo de gas refrigerante y otras especificaciones relevantes.

- Calcular con precisión el voltaje necesario y la corriente eléctrica requerida (amperios) para los equipos es fundamental para seleccionar los interruptores termomagnéticos adecuados y el calibre del cable eléctrico necesario.
- Dado que la corriente eléctrica implica riesgos significativos, incluso para profesionales experimentados, es esencial utilizar equipo de seguridad, que incluye guantes, botas, gafas protectoras y herramientas con un adecuado aislamiento.

Es fundamental etiquetar de manera apropiada los interruptores principales para señalar que se están realizando trabajos eléctricos y prevenir que otros los activen accidentalmente debido a la falta de conocimiento, lo que podría resultar en accidentes. Siguiendo buenas prácticas de seguridad, se debe colocar una etiqueta de advertencia por cada trabajador involucrado en la instalación de los sistemas de aire acondicionado o refrigeración, y cada trabajador debe retirar su etiqueta al finalizar su labor. Estas precauciones son cruciales para evitar accidentes o riesgos innecesarios.

3.4.1. Necesidades de energía

En el contexto del sistema VRF, se emplea el término de eficiencia conocido como IEER (*Integrated Energy Efficiency Ratio*), que utiliza una ecuación para estimar la eficiencia en cargas parciales del sistema. Esto se logra mediante la evaluación de la eficiencia en cuatro puntos de operación específicos: el 100 %, 75 %, 50 % y 25 % de capacidad, a los cuales se les

asigna un peso en función de su contribución a la eficiencia general. La fórmula para calcular el IEER es la siguiente:

$$\text{IEER} = (0.020A) + (0.617B) + (0.238C) + (0.125D)$$

Donde:

A = eficiencia energética a 100 % de capacidad neta bajo condiciones estándar de AHRI.

B = eficiencia energética a 75 % de capacidad neta y condiciones reducidas.

C = eficiencia energética a 50 % de capacidad neta y condiciones reducidas.

D = eficiencia energética a 25 % de capacidad neta y condiciones reducidas.

Es importante destacar que el IEER calculado aquí difiere significativamente de otros parámetros como el ILPV y kW/Ton, que son utilizados en el caso de los *chillers* de agua helada. La principal diferencia radica en que, mientras que en el caso de los *chillers* se limita la evaluación de eficiencia al equipo de compresión, excluyendo otros componentes como bombas, ventiladores, torres de enfriamiento, actuadores, entre otros, en el sistema VRF se consideran todos los componentes, incluyendo la unidad exterior, unidad interior, sistemas de control y ventilación, en el cálculo del IEER.

El valor del IEER es un indicador sólido de la eficiencia de un sistema a cargas parciales y debe ser utilizado exclusivamente para comparar sistemas de igual capacidad y tipo de configuración de unidades interiores.

3.5. Carga refrigerante

Es crucial seguir las indicaciones y directrices proporcionadas por el fabricante en lo que respecta al manejo y carga de refrigerante en sistemas VRF. La correcta utilización de este refrigerante es esencial para garantizar el desempeño y la eficiencia óptimos del sistema, así como para cumplir con los requisitos normativos ambientales vigentes.

3.5.1. Tipo de refrigerante

La cantidad y tipo de refrigerante empleados en un sistema de aire acondicionado que incorpora la tecnología de volumen de refrigerante variable (VRF) pueden variar dependiendo del fabricante y el modelo específico del sistema. Sin embargo, es común que los sistemas VRF utilicen refrigerantes pertenecientes a la serie R-410A o R-32, debido a sus ventajas ambientales en comparación con refrigerantes más antiguos, como el R-22, que se ha venido eliminando gradualmente debido a inquietudes relacionadas con el medio ambiente.

La cantidad exacta de refrigerante requerida en un sistema VRF está sujeta a diversos factores, como la capacidad del sistema, la longitud de las tuberías de refrigerante, la ubicación de las unidades interiores y exteriores, así como otros aspectos de diseño específicos del proyecto. Para determinar con precisión la cantidad necesaria de refrigerante para un sistema VRF en una instalación particular, es fundamental consultar las especificaciones técnicas proporcionadas por el fabricante del equipo. En muchos casos, se recomienda la asesoría de un profesional en sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC), con experiencia en la planificación y ejecución de proyectos que involucren sistemas VRF.

4. MANUAL DE REFERENCIA PARA MONTAJE DE EQUIPO DE AIRE ACONDICIONADO DE VRF

4.1. Necesidades de confort en el edificio

Los sistemas de aire acondicionado VRF versátiles se pueden utilizar en una variedad de tipos de edificios. Estos sistemas son especialmente adecuados para edificios que tienen requisitos de climatización específicos y cambiantes. A continuación se presentan algunas necesidades de confort dentro de edificios en los que los sistemas VRF son comunes:

- **Temperatura:** la temperatura interior debe ser la adecuada para las actividades que se realizan en el edificio y las preferencias de los ocupantes. La temperatura se regula mediante el sistema VRF para mantenerla dentro de un rango cómodo.
- **Humedad:** el nivel de humedad también es crítico. Demasiada humedad puede hacer que el ambiente se sienta pegajoso y desagradable, mientras que la humedad insuficiente puede causar sequedad en la piel y problemas respiratorios. Los sistemas VRF pueden controlar la humedad relativa manteniéndola dentro de un rango cómodo.
- **Calidad del aire interior:** la calidad del aire interior es esencial. Los sistemas VRF a menudo están equipados con filtros de aire y sistemas de ventilación que eliminan contaminantes y garantizan un suministro constante de aire fresco. Esto es importante para la salud y el bienestar de los ocupantes.

- Distribución del aire: el aire debe distribuirse de manera uniforme en todo el espacio. Las unidades interiores del sistema VRF se colocan estratégicamente para lograr una distribución uniforme del aire acondicionado y evitar zonas calurosas o frías.
- Nivel de ruido: un funcionamiento ruidoso puede ser molesto para los ocupantes, por lo que se deben tomar medidas para minimizar el ruido, como la selección de unidades interiores y exteriores adecuadas y la instalación de aislamiento acústico.
- Control de zonas: en edificios con diferentes áreas de ocupación y necesidades de climatización, es esencial que el sistema VRF permita el control por zonas. Esto significa que se pueden ajustar las condiciones de confort de manera independiente en diferentes áreas, lo que ahorra energía y permite adaptar el sistema a las preferencias de los ocupantes.
- Eficiencia energética: la eficiencia energética es fundamental tanto para el confort como para la sostenibilidad. Los sistemas VRF son conocidos por su eficiencia energética, lo que reduce el consumo de energía y los costos operativos, al tiempo que contribuye a reducir la huella de carbono del edificio.
- Adaptación a las estaciones: el sistema VRF debe ser capaz de adaptarse a las condiciones climáticas cambiantes a lo largo del año. Puede proporcionar calefacción en invierno y refrigeración en verano, asegurando el confort durante todo el año.

- Seguridad: los sistemas VRF deben cumplir con todas las normativas de seguridad, incluyendo la protección contra fugas de refrigerante y la prevención de incendios.

4.1.1. Tipo de edificio

Los sistemas de aire acondicionado VRF son adecuados para una variedad de tipos de edificios, y se pueden clasificar en categorías generales para considerar su instalación. Aquí se presenta una clasificación de los tipos de edificios donde se puede instalar un sistema VRF:

- Edificios comerciales
 - Oficinas y complejos de oficinas
 - Centros comerciales y tiendas minoristas
 - Restaurantes y locales de comida
 - Hoteles y hospedaje
- Edificios residenciales
 - Apartamentos y condominios
 - Edificios de viviendas multifamiliares
 - Residencias unifamiliares
- Instalaciones de salud
 - Hospitales y centros de atención médica
 - Clínicas y consultorios médicos
- Educación
 - Escuelas primarias y secundarias
 - Universidades y campus educativos

- Instituciones de formación y academias
- Instalaciones industriales
 - Fábricas y plantas de producción
 - Almacenes y centros de distribución
- Espacios públicos y gobierno
 - Edificios gubernamentales
 - Centros de convenciones y espacios públicos

Es importante destacar que los sistemas VRF son altamente versátiles y se pueden adaptar a diversas necesidades de climatización. También son adecuados para edificios de diferentes tamaños, desde pequeños comercios hasta grandes rascacielos. La elección de un sistema VRF dependerá de las necesidades específicas de climatización, el presupuesto y las consideraciones de diseño para cada tipo de edificio. Además, los sistemas VRF permiten el control independiente por zonas, lo que les hace adecuados para edificios con diversas áreas de ocupación y requisitos de confort variados.

4.1.2. Capacidad de instalación

La determinación de la capacidad de instalación de un sistema de aire acondicionado VRF (volumen de refrigeración variable) en un edificio es un proceso crucial que implica evaluar si el edificio es adecuado para este tipo de sistema.

- Evaluación de las cargas térmicas: en primera instancia, se debe realizar una minuciosa evaluación de las necesidades de climatización del edificio. Esto implica el cálculo de las cargas térmicas, es decir, la

cantidad de calor que debe ser eliminada o suministrada al espacio con el fin de mantener las condiciones de confort. En esta evaluación, se deben considerar factores tales como la orientación del edificio, la exposición a la radiación solar, el número de ocupantes y la cantidad de equipos electrónicos presentes.

- Establecimiento de objetivos de eficiencia energética: es esencial definir los objetivos de eficiencia energética que se pretenden alcanzar con la implementación del sistema VRF. Estos objetivos pueden abordar la reducción de los costos operativos del edificio y la disminución de su huella de carbono.
- Verificación del espacio disponible para las unidades exteriores: las unidades exteriores del sistema VRF deben ser ubicadas en el exterior del edificio. Por lo tanto, es imperativo garantizar que exista suficiente espacio para su instalación, tomando en consideración variables como la distancia a elementos circundantes y la ventilación adecuada.
- Consideración de restricciones arquitectónicas: se debe llevar a cabo una evaluación detallada de posibles restricciones arquitectónicas que puedan afectar la instalación de las unidades exteriores o la disposición de las tuberías de refrigerante y las líneas de comunicación.
- Confirmación de la capacidad eléctrica disponible: la capacidad eléctrica necesaria para respaldar el sistema VRF debe estar disponible y ser suficiente. Esto incluye la instalación de paneles eléctricos apropiados y la capacidad de distribuir eficazmente la energía eléctrica.

- Análisis de las necesidades de zonificación: la consideración de las necesidades de zonificación en el edificio es fundamental. Los sistemas VRF permiten la regulación independiente de la temperatura en distintas zonas. Por tanto, es crucial identificar las áreas que requieren control individualizado y ajustes de temperatura específicos.
- Determinación de la capacidad de las unidades exteriores e interiores: la elección de unidades exteriores con capacidad suficiente para atender las cargas térmicas del edificio, así como la selección de unidades interiores adecuadas para las necesidades específicas de climatización en las áreas correspondientes, es un paso esencial.
- Evaluación del rendimiento energético: es necesario examinar con detenimiento el rendimiento energético del sistema VRF en consideración. De esta manera, se garantiza que el sistema cumple con los objetivos de eficiencia energética y sostenibilidad previamente establecidos.

La capacidad de instalación de un sistema VRF en un edificio debe ser determinada de manera minuciosa, abordando factores técnicos, arquitectónicos, eléctricos y financieros. Esto garantizará el éxito de la instalación y el funcionamiento efectivo del sistema VRF a lo largo del tiempo.

4.2. Planos del montaje

Los planos de montaje de un sistema de aire acondicionado VRF desempeñan un papel crucial en garantizar que la instalación cumpla con las buenas prácticas y se lleve a cabo de manera efectiva y eficiente.

4.2.1. Planos del edificio

Para satisfacer estos estándares, los planos de montaje deben poseer las siguientes características esenciales:

- Especificaciones detalladas: los planos deben incluir especificaciones técnicas detalladas que describan con precisión los componentes del sistema VRF, como unidades exteriores e interiores, tuberías de refrigerante, líneas de comunicación, unidades de control y equipos eléctricos. Esto asegura que todos los elementos del sistema sean claramente definidos.
- Ubicación de las unidades exteriores e interiores: los planos deben indicar claramente la ubicación de las unidades exteriores e interiores en el edificio. Esto incluye detalles sobre las áreas exactas donde se instalarán estas unidades, considerando aspectos como el acceso para el mantenimiento y la ventilación adecuada.
- Distribución de tuberías y líneas de comunicación: los planos deben mostrar la disposición de las tuberías de refrigerante y las líneas de comunicación que conectan las unidades exteriores e interiores. Deben especificar el diámetro y la longitud de estas tuberías, garantizando una distribución eficiente.
- Conexiones eléctricas: los planos deben contener información detallada sobre las conexiones eléctricas necesarias para el sistema VRF. Esto implica la ubicación de paneles eléctricos, la distribución de circuitos eléctricos y la conexión de las unidades exteriores e interiores.

- Capacidad de carga eléctrica: los planos deben incluir datos sobre la capacidad eléctrica requerida para el sistema VRF. Esto asegura que la infraestructura eléctrica existente sea suficiente para soportar el sistema.
- Esquemas de control: los planos deben proporcionar esquemas de control que describan las estrategias de funcionamiento del sistema VRF, como los horarios de operación, los puntos de consigna de temperatura y los modos de operación. Estos esquemas deben basarse en las necesidades del edificio y las preferencias del cliente.
- Señalización de normativas y regulaciones: los planos deben incluir señalizaciones claras sobre las normativas y regulaciones locales y nacionales que deben ser cumplidas durante la instalación. Esto garantiza el cumplimiento de estándares de seguridad y eficiencia energética.
- Escalas y dimensiones precisas: los planos deben presentar escalas y dimensiones precisas para garantizar la exactitud en la instalación. Los técnicos e instaladores deben poder utilizar los planos como referencia directa.
- Identificación de componentes clave: los planos deben etiquetar claramente los componentes clave, como las unidades exteriores e interiores, las conexiones eléctricas, las tuberías y las líneas de comunicación. Esto facilita la identificación y la instalación adecuada.
- Notas aclaratorias: los planos deben incluir notas aclaratorias que proporcionen información adicional y aclaraciones sobre aspectos

técnicos y de diseño. Esto garantiza una comprensión completa de la instalación.

En resumen, los planos de montaje de un sistema de aire acondicionado VRF deben ser completos, detallados y precisos. Estas características son esenciales para garantizar una instalación exitosa que cumpla con las buenas prácticas de montaje y los estándares de seguridad y eficiencia.

4.2.2. Planos del sistema montado

Los planos de instalación de un sistema de aire acondicionado VRF constituyen una herramienta fundamental para garantizar que la implementación de dicho sistema cumpla con las buenas prácticas de montaje. Estos planos deben poseer características específicas que permitan una ejecución efectiva y eficiente del proyecto, como se describió anteriormente.

4.3. Parámetros de control

La verificación de los parámetros de control en un sistema de aire acondicionado VRF es un proceso esencial para garantizar que el sistema funcione de manera eficiente y cumpla con los requisitos de confort en edificios. Los parámetros clave que deben ser monitoreados y verificados incluyen la temperatura ambiente, la temperatura del aire suministrado, la temperatura del aire de retorno y la humedad relativa.

4.3.1. Temperatura del ambiente

La temperatura ambiente es un parámetro crítico que debe ser controlado de cerca. Se realiza mediante sensores de temperatura ubicados

estratégicamente en el espacio acondicionado. La verificación implica comparar la temperatura actual con la temperatura de consigna preestablecida. Si la temperatura ambiente se desvía de la temperatura de consigna, el sistema VRF ajustará su operación para corregir esta discrepancia. La verificación continua se logra a través de un sistema de control centralizado que recopila y procesa los datos de los sensores y permite ajustes automáticos en tiempo real.

4.3.2. Temperatura del aire suministrado

La temperatura del aire suministrado es una medida importante para asegurarse de que el aire acondicionado se encuentra a la temperatura adecuada. Esto se logra mediante sensores ubicados en las unidades interiores del sistema VRF. La verificación implica monitorear constantemente la temperatura del aire suministrado y ajustarla según sea necesario para mantenerla dentro del rango de confort especificado. Los sistemas VRF cuentan con la capacidad de variar la velocidad del compresor y la capacidad de enfriamiento o calefacción para lograr la temperatura deseada.

4.3.3. Temperatura del aire de retorno

La temperatura del aire de retorno es otra variable crucial que se verifica para evaluar la eficiencia y el rendimiento del sistema. Se mide con sensores de temperatura colocados en la zona de retorno del sistema. La verificación implica comparar esta temperatura con la temperatura ambiente para evaluar la diferencia. Si la temperatura de retorno es significativamente diferente de la temperatura ambiente, podría indicar problemas en la distribución del aire, la carga térmica o el funcionamiento del sistema.

4.3.4. Humedad relativa

La humedad relativa es un parámetro clave para garantizar el confort y la calidad del aire interior en un edificio. Se mide mediante sensores de humedad. La verificación implica mantener la humedad relativa dentro del rango de confort, que generalmente se encuentra entre el 30 % y el 60 %. El sistema VRF debe ajustar la operación, si es necesario, para lograr este rango. Un control preciso de la humedad relativa es fundamental para evitar problemas de condensación, crecimiento de moho y proporcionar un ambiente interior saludable.

4.3.5. Nivel de refrigerante

La verificación del nivel de refrigerante se realiza mediante la inspección visual de las unidades exteriores y la medición de la presión del refrigerante. Los técnicos de servicio capacitados son responsables de verificar que no haya fugas de refrigerante y que el nivel esté dentro del rango óptimo. La falta de refrigerante o una sobrecarga pueden afectar el rendimiento del sistema.

Los sistemas VRF modernos a menudo están equipados con sistemas de detección de fugas que alertan a los operadores en caso de problemas de refrigerante. La verificación del nivel de refrigerante debe ser parte de un programa de mantenimiento regular, con inspecciones programadas para garantizar que el sistema funcione sin problemas.

4.3.6. Consumo de energía

La verificación del consumo de energía se lleva a cabo mediante el monitoreo continuo del uso de energía del sistema VRF. Se utilizan medidores de energía para registrar el consumo en tiempo real. Los sistemas VRF modernos están equipados con sistemas de control avanzados que permiten programar horarios de funcionamiento y ajustar la velocidad del compresor según las necesidades. Esto contribuye a un funcionamiento más eficiente y ahorro energético. La verificación implica comparar el consumo de energía real con las estimaciones y metas establecidas. Cualquier desviación significativa puede indicar problemas en el sistema que requieren atención.

4.4. Capacitación del usuario

La capacitación de usuarios en sistemas de aire acondicionado VRF instalados en edificios es de suma importancia, ya que garantiza que los ocupantes y operadores del edificio puedan utilizar eficazmente el sistema, optimizar su rendimiento y mantener condiciones de confort. Los sistemas VRF son altamente sofisticados y, por lo tanto, requieren una comprensión adecuada para su correcta operación. La capacitación de usuarios contribuye a:

- Eficiencia operativa: los usuarios informados pueden utilizar el sistema de manera eficiente, ajustando las configuraciones según las necesidades reales, lo que resulta en un menor consumo de energía y costos operativos más bajos.
- Confort de los ocupantes: la capacitación permite a los usuarios entender cómo controlar la temperatura y la calidad del aire, lo que contribuye al confort de los ocupantes.

- Mantenimiento preventivo: usuarios capacitados pueden identificar problemas iniciales o anómalos en el funcionamiento del sistema y comunicarlos al personal de mantenimiento, lo que contribuye a la prevención de problemas más graves.

El plan de capacitación para esto tiene como objetivo principal proporcionar a los usuarios del sistema de aire acondicionado VRF el conocimiento y las habilidades necesarias para operar y mantener eficazmente el sistema. Este deberá tener una duración de al menos dos días completos y deberá incluir lo siguiente:

- Día 1:
 - Introducción a los sistemas VRF: conceptos básicos, componentes y funcionamiento del sistema.
 - Control y operación: uso de paneles de control, ajuste de temperatura, modos de operación y programación de horarios.
 - Calidad del aire interior: control de la humedad, filtración de aire y mantenimiento de una calidad de aire saludable.
 - Eficiencia energética: consejos para la operación eficiente y reducción del consumo de energía.
 - Prácticas seguras: normas de seguridad en la operación y el mantenimiento del sistema.
- Día 2:
 - Mantenimiento básico: procedimientos de limpieza y mantenimiento preventivo.

- Identificación de problemas comunes: cómo reconocer y solucionar problemas menores.
- Comunicación de problemas: cómo informar de problemas al personal de mantenimiento.
- Preguntas y respuestas: sesión interactiva para abordar dudas de los usuarios.
- Evaluación final: examen escrito y práctico para evaluar la comprensión y las habilidades de los usuarios.

La capacitación de usuarios es esencial para asegurar la operación eficiente y el mantenimiento adecuado de los sistemas VRF en edificios. Proporciona a los usuarios las habilidades necesarias para utilizar el sistema de manera óptima, lo que a su vez contribuye a la eficiencia energética y al confort de los ocupantes. Además, ayuda a prevenir problemas y a mantener el sistema en buen estado a lo largo del tiempo.

4.5. Determinación del mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo en sistemas de aire acondicionado VRF es crucial para garantizar un rendimiento óptimo y prolongar la vida útil del sistema. La determinación de los mantenimientos preventivos se basa en una combinación de factores, incluyendo las especificaciones del fabricante, las normativas locales, las condiciones ambientales y las necesidades particulares del edificio. A continuación se describe cómo se determinan los mantenimientos preventivos y se presenta un plan de mantenimiento preventivo sugerido:

- Recomendaciones del fabricante: el fabricante del sistema VRF proporciona pautas específicas para el mantenimiento preventivo,

incluyendo la periodicidad y los procedimientos recomendados. Estas recomendaciones deben ser la base del plan de mantenimiento.

- Normativas locales: las normativas y regulaciones locales pueden establecer requisitos específicos de mantenimiento, como inspecciones periódicas o pruebas de eficiencia energética. Deben cumplirse en todo momento.
- Uso y carga térmica: la cantidad de uso y la carga térmica del edificio influirán en la frecuencia y el alcance del mantenimiento. Los edificios de alto tráfico o con cargas térmicas significativas pueden requerir un mantenimiento más frecuente.
- Condiciones ambientales: las condiciones climáticas y ambientales, como la exposición a la intemperie, pueden acelerar el desgaste del sistema y justificar un mantenimiento más frecuente.

El principal objetivo es establecer un plan de mantenimiento preventivo para el sistema de aire acondicionado VRF que garantice un rendimiento óptimo y prolongue la vida útil del equipo. Este debe llevarse a cabo de forma anual con los siguientes recursos:

- Personal técnico especializado: técnicos de mantenimiento con capacitación en sistemas VRF.
- Herramientas y equipos: herramientas de medición, equipo de limpieza, refrigerante y piezas de repuesto.

- Registros de mantenimiento: un sistema para llevar un registro detallado de las actividades de mantenimiento realizadas.

Este mantenimiento deberá contemplar al menos 8 horas anualmente para garantizar las prestaciones del sistema VRF, el cual contempla:

- Inspección visual: revisión visual de las unidades interiores y exteriores para identificar daños o desgaste.
- Limpieza: limpieza de filtros de aire, serpentines y componentes clave del sistema.
- Comprobación de refrigerante: verificación del nivel de refrigerante y detección de fugas.
- Pruebas de funcionamiento: pruebas de funcionamiento para asegurarse de que el sistema opere correctamente en todos los modos.
- Ajustes y calibración: ajuste de los controles y calibración de sensores según sea necesario.
- Asesoramiento al usuario: proporcionar al usuario recomendaciones para el uso eficiente del sistema.

El mantenimiento preventivo en sistemas de aire acondicionado VRF es esencial para garantizar el rendimiento y la eficiencia a lo largo del tiempo. Este plan de mantenimiento anual proporciona un marco para mantener el sistema en condiciones óptimas y prevenir problemas costosos a largo plazo.

4.6. Documentación del sistema

Es esencial contar con una documentación completa y precisa que respalde la instalación y el mantenimiento del sistema.

- Planos de instalación: planos detallados que ilustran la ubicación precisa de las unidades exteriores e interiores, las conexiones de tuberías y cables, y otros componentes fundamentales. Estos planos deben ser confeccionados por ingenieros especializados en sistemas VRF.
- Manuales de equipos: manuales de usuario y técnicos proporcionados por el fabricante de las unidades exteriores e interiores. Estos manuales contienen información relevante sobre especificaciones técnicas, operación, mantenimiento y directrices de seguridad.
- Certificados y licencias: documentación que respalda la cualificación y certificación de los técnicos y contratistas involucrados en la instalación y el mantenimiento del sistema VRF.
- Certificado de cumplimiento: un certificado que atestigua que la instalación cumple con todas las normativas y regulaciones locales relacionadas con la seguridad, el medio ambiente y la eficiencia energética.
- Documentación de garantía: copias de las garantías otorgadas por el fabricante para las unidades exteriores e interiores, así como para cualquier equipo adicional utilizado en la instalación.

- Registros de mantenimiento: un registro detallado de todas las actividades de mantenimiento preventivo realizadas en el sistema. Esto debe incluir fechas, procedimientos efectuados y cualquier problema detectado y solucionado.
- Informe de eficiencia energética: un informe que refleje la eficiencia energética del sistema VRF, incluyendo mediciones de consumo de energía y datos de rendimiento a lo largo del tiempo.
- Informe de calidad del aire interior: en caso de que el sistema VRF esté equipado con características relacionadas con la calidad del aire interior, debe existir un informe que muestre mediciones de niveles de humedad, filtración y otros parámetros relevantes.
- Plan de capacitación: documentación que certifique la capacitación proporcionada a los usuarios y al personal de mantenimiento en lo que respecta a la operación y el mantenimiento adecuados del sistema VRF.
- Contratos de mantenimiento: cualquier contrato de servicio de mantenimiento suscrito con una institución externa, que describa las responsabilidades y los compromisos de ambas partes.
- Especificaciones de diseño: en caso de que la instalación del sistema VRF se haya llevado a cabo como parte de un proyecto de construcción o renovación, es esencial mantener las especificaciones de diseño originales, que incluyen requisitos técnicos y de rendimiento.

- Comunicaciones del fabricante: cualquier comunicado oficial emitido por el fabricante que se relacione con actualizaciones, mejoras o problemas conocidos con el equipo.
- Registros de auditorías y pruebas: en el caso de auditorías de eficiencia energética o pruebas de rendimiento, es necesario conservar los registros correspondientes.

Mantener esta documentación en orden y a disposición es fundamental para garantizar el funcionamiento adecuado, el mantenimiento eficiente y la resolución eficaz de problemas del sistema de aire acondicionado VRF en un edificio. Además, es esencial para el cumplimiento de las regulaciones y normativas vigentes, así como para respaldar las garantías y mantener un historial de rendimiento confiable.

Tabla 2.

Lista de chequeo para la documentación

LISTA DE CHEQUEO		
BUENAS PRÁCTICAS DE MONTAJE		
SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO VRF		
Descripción	Cumple	
	Si	No
Planos de instalación		
Manuales de equipos		
Certificados y licencias		
Certificado de cumplimiento		
Documentación de garantía		
Registros de mantenimiento		
Informe de calidad de aire interior		
Plan de capacitación		
Contratos de mantenimiento		
Especificaciones de diseño		
Comunicaciones con fabricante		
Registro de auditorías y pruebas		

Nota. Descripción de la lista de chequeo para las buenas prácticas de montaje y documentación. Elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

CONCLUSIONES

1. La forma técnica actual de montaje de equipos de aire acondicionado con VRF es un proceso altamente especializado que sigue pautas y procedimientos precisos para garantizar una instalación eficiente y funcional, consta de la evaluación inicial, diseño de la distribución de unidades, selección de equipos, dimensionamiento de tuberías y cables, consideraciones eléctricas, montaje de unidades, conexiones de tuberías y cables, configuraciones del sistema de control, pruebas y ajustes y documentación técnica.
2. Se definieron los conceptos fundamentales sobre la refrigeración y los sistemas de aire acondicionado de volumen de refrigeración variable, incluyendo temas como psicrometría, propiedades del aire, carta psicrométrica, campo y usos del aire acondicionado, componentes del sistema, confort humano, estándares de confort, diseño del sistema de acondicionamiento de aire, cálculo de cargas térmicas que incluye la caracterización de los edificios, tipos de paredes y determinación de la carga térmica, el sistema VRF con una descripción, ventajas y tipos de sistema de volumen de refrigeración variables y, por último, descripción sobre las tuberías y ductos.

3. Las buenas prácticas en el montaje de equipos de aire acondicionado VRF incluyen la evaluación inicial, selección de equipos, distribución estratégica de unidades, planos del montaje, control de zona, control de parámetros como temperatura del ambiente, temperatura del aire suministrado, temperatura del aire de retorno, humedad relativa, nivel de refrigerante y consumo de energía.

4. El manual de referencia para el montaje de equipos de volumen de refrigeración variable definió por medio la correcta forma de instalación de los equipos, los requisitos que deben cumplir los planos del edificio y del sistema montado, además de cómo se debe considerar cada parámetro importante para el confort dentro de los edificios. Por último, se define el plan de capacitación que debe darse a los técnicos de los edificios y el plan de mantenimiento preventivo para los sistemas de aire acondicionado de volumen de refrigeración variables.

RECOMENDACIONES

1. Considerar que los sistemas de aire acondicionado con sistema de refrigeración variable son equipos especializados y necesitan contar con personal calificado para realizar los mantenimientos correctivos y preventivos de forma adecuada.
2. Recordar que para la instalación de un sistema de aire acondicionado con sistema de refrigeración variable es necesario que se consideren temas de psicrometría, propiedades del aire, necesidades de confort y cálculo de cargas térmicas, ya que esta información determina la capacidad del sistema y la cantidad de equipos necesarios a instalar.
3. Incluir en la instalación de sistemas de aire acondicionado con sistema de refrigeración variable las buenas prácticas de montaje para mejorar las prestaciones de los equipos y asegurar su correcto funcionamiento a lo largo del tiempo.
4. Utilizar el manual de referencia para el montaje de equipos de volumen de refrigeración variable, para identificar los principales componentes que deben considerarse para la instalación y cumplir con las buenas prácticas de montaje.

REFERENCIAS

ACR Company. (2020). *Ubicación de aire acondicionado*. <https://acr.company/>

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (2013). *Climatización*. <https://www.ashrae.org/>

Argueta, J. (2015). *Acondicionamiento del ambiente en el salón de profesores de la Escuela de Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala*. [Tesis de grado, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Archivo digital. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0868_M.pdf

Berg, C. (2016). *Volviendo a lo básico: psicrometría y la carta psicrométrica*. Colmaccoil. <https://www.colmaccoil.com/media/28978/backtobasicpsychrometricsandthepsychrometricchartspanish.pdf>.

Carel.es. (2023). *¿Qué es el acondicionamiento del aire?* <https://www.carel.es/what-s-air-conditioning-#:~:text=El%20aire%20acondicionado%20es%20el,un%20nivel%20de%20confort%20personal>.

Carrier, A. (1980). *Psicrometría*. McGrawHill.

Energía Nuclear.net. (2023). *Ecuación de continuidad: utilidad, ejemplos y ejercicios.* <https://energia-nuclear.net/fisica/mecanica-de-fluidos/ecuacion-de-continuidad>

Germain, F. (2018). *Diseño de un sistema de aire acondicionado de bajo costo de operación para las oficinas administrativas del cuarto piso del edificio de Ingeniería USAT – Chiclayo.* [Tesis de grado, Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo]. Archivo digital. <https://core.ac.uk/download/pdf/211084688.pdf>

González, O. (2021). *¿Qué es un sistema de refrigeración variable?* Preciogas. [https://preciogas.com/instalaciones/equipamiento/aire-acondicionado/vrv#:~:text=El%20VRV%20\(Volumen%20de%20Refrigerante, encontrar%20como%20VRV%20o%20VRF\)](https://preciogas.com/instalaciones/equipamiento/aire-acondicionado/vrv#:~:text=El%20VRV%20(Volumen%20de%20Refrigerante, encontrar%20como%20VRV%20o%20VRF))

Hernández, E. (1997). *Fundamentos de aire acondicionado y refrigeración.* Limusa.

Jaramillo, M. (2010). *Criterios para diseñar sistemas de aire acondicionado.* ACR Latinoamérica. <https://www.acrlatinoamerica.com/201012043415/noticias/desde-la-fuente/criterios-para-disenar-sistemas-de-aire-acondicionado.html>

Marcé, J. (2017). *Comparación de diferentes sistemas de climatización aplicados a un edificio residencial.* [Tesis de grado, Universidad Politécnica de Catalunya]. Archivo digital. <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/111654/memoria.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Mundo HVACR. (2008). *Criterios para diseñar sistemas de aire acondicionado*.
<https://www.mundohvacr.com/2008/04/criterios-para-disenar-sistemas-de-aire-acondicionado-consideraciones-y-metodos-de-la-planeacion/>
- Noguera, B. (2020). *¿Qué son las cartas psicrométricas?* Ingeniería Química Reviews. <https://www.ingenieriaquimicareviews.com/2020/09/cartas-psicrometricas.html>
- Puerto, E. (2015). *Aislamiento en conductos de aire*.
<https://efrainpuerto.com/2015/01/13/4-4-aislamiento-en-conductos-de-aire/>
- Pruebaderuta.com. (2021). *Componentes del sistema de aire acondicionado*.
<https://www.pruebaderuta.com/componentes-del-sistema-de-aire-acondicionado.php>
- Ramírez, C. (2013). *Regulación del aire acondicionado*. Panamericana.
- S&P. (2020). *Cálculo de cargas térmicas: conceptos básicos y métodos*. S&P.
<https://www.solerpalau.com/es-es/blog/calculo-cargas-termicas/>
- WBDG. (2023). *La sostenibilidad de un edificio*.
http://www.wbdg.org/resources/env_sustainability.php?r=envelope
- Weber ES. (2021). *¿Qué es y cómo se consigue el confort térmico en un edificio?* Weber ES. <https://www.es.weber/blog/confort-termico-edificio>