Universidad Acción Pro Educación y Cultura

Decanato de Ingeniería e Informática

Escuela de Ingeniería

Trabajo de Grado para Optar por el Título de:

Ingeniero Eléctrico Mención Potencia

Título:

Optimización del sistema de climatización convencional del edificio II, mediante una propuesta técnico-económica para un sistema de Volumen Variable de Refrigerante (VRF), Universidad APEC, Campus II, año 2017.”

Sustentado por:

Elidy Herrera Alcántara	2013-2259
Kevin Arismendy González Rosario	2013-2641
Edwin Jesús Ramírez Tejeda	2013-2245

Asesor:

Ing. Ricardo Turbides

Santo Domingo, Distrito Nacional.
República Dominicana
14 de diciembre del 2017

Los conceptos expuestos en esta investigación son de exclusiva responsabilidad de su (s) autor (es)

RESUMEN

Hoy en día uno de los principales problemas que se presentan en los distintos sectores: residencial (casas y torres de apartamentos), industrial (fábricas y naves industriales) y comercial (plazas, hospitales y centros de estudios) es el consumo de la energía eléctrica, ya que a medida que avanza la tecnología se utilizan más equipos que, aunque la tendencia es que éstos vengan más eficientes, igual aumenta la cantidad de maquinarias para las distintas tareas que posiblemente antes se realizaban sin el uso de la energía eléctrica. Se ha demostrado que en cualquiera de los sectores descritos anteriormente que se encuentren climatizados más del cincuenta por ciento de la energía consumida se debe a los acondicionadores de aire.

El trabajo de grado presente busca demuestra la factibilidad de la sustitución de los equipos convencionales de expansión directa por un sistema de flujo variable de refrigerante (VRF) Edifico II del Campus II de la Universidad APEC tanto en el aspecto económico, el tiempo en que se retornará la inversión, así como en las ventajas técnicas frente a los equipos actuales que nos ofrece este tipo de sistema.

Es bien sabido de que, en nuestro país, el sistema de climatización de un determinado espacio impacta en un 50 por ciento, aproximadamente, el consumo de la facturación eléctrica. Esto a causa de que es necesario climatizar durante todo el año, de manera que se pueda crear un ambiente equilibrado y cómodo para trabajar.

El Edifico II del Campus II de la Universidad APEC es uno de cuatro edificios y es el que presenta el mayor consumo de todo el campus. Éste contiene todos los talleres, laboratorios y aulas digitales en los cuales los Ingenieros practican las teorías de las materias afines a sus carreras y, a razón de los equipos y personas que en sí contiene, es donde se produce la mayor ganancia de calor de todo el plantel. Por esta razón es necesario que esté correctamente climatizada, de manera

que no se deterioren ninguno de los equipos y los estudiantes tengan un ambiente confortable para desarrollar sus tareas.

Mediante un riguroso levantamiento, se confirmó la situación del sistema de climatización actual, y con el auxilio de cálculos, se estimó el impacto que éste tiene en la facturación eléctrica. Por otro lado, se estimó también el impacto que tendría la instalación de un nuevo sistema utilizando la tecnología de Flujo de Refrigerante Variable (VRF) en la facturación eléctrica del campus y se evaluó la rentabilidad de la sustitución del sistema convencional instalado, a través de una propuesta técnico-económica en la que se refleja, mediante comparaciones de ambos sistemas, un estudio de eficiencia energética, porcentaje de ahorro económico y tiempo de retorno de la inversión de ser instalado el nuevo sistema.

DEDICATORIA

Elidy Herrera Alcántara

Dedicado para mis padres y mis hermanos, por brindarme todo su apoyo incondicional en el transcurso de mi formación profesional.

Kevin Arismendy González Rosario

Quiero dedicar la Tesis a mi Familia, antes que nada, que los conocimientos adquiridos en ella y durante este largo periodo sean un motor de impulso para seguir hacia adelante.

Edwin Jesús Ramírez Tejeda

A Dios todo poderoso, por guiarme y ayudarme a superar los obstáculos y adversidades que hasta el momento la vida me ha presentado.

A mis padres, mis éxitos son también suyos.

A mis hermanos, porque con ellos he llorado, he reído, he peleado, he jugado, me han acompañado y apoyado tanto en los buenos como en los malos momentos.

A mis sobrinos, Nashla, Yandrews Jesús y Denzel Alexander espero que este logro lo tomen de ejemplo y me superen con creces.

Y por último a mis amigos, Henrry Amín, Eury, Luis Ambiorix, Franmy, y todo aquel que me considere un amigo, espero que este logro les sirva de motivación.

AGRADECIMIENTOS

Elidy Herrera Alcántara

En primer lugar, quiero agradecer a mis padres Carlos Herrera y Elizabeth alcántara y hermanos Carlos Arturo y Carla Lisbeth, por todo el empeño y dedicación que han puesto en mi como una persona fundada en valores y en mi educación y desarrollo profesional. Su entrega ha sido indispensable para mi desarrollo.

Quiero agradecer en gran medida a mi tía / madrina Iris Alcántara, por sus consejos y apoyo brindado que fueron de gran aporte a lo largo de mi vida. A Kevin González que ha sido un compañero invaluable profesional y personalmente, y de manera similar a Edwin Ramírez. Por otro lado, quiero agradecer a mi mejor amiga Franmy Vásquez, en palabras simples, por ser y estar, ha sido una persona clave en mí.

También quiero exaltar el aporte y colaboración de mis compañeros de carrera, que sirvieron de fuente y siempre se mostraron dispuestos a ayudar.

De manera especial agradezco a todos mis compañeros de Soventix Caribbean, la empresa donde actualmente laboro que con el tiempo dedicado, conocimiento transferido y entrega vocacional me ayudar a forjar mucho del profesional que soy ahora. En la misma línea quiero agradecer a maestros indispensables:

- Cesar Feliz
- Ricardo Turbídes
- Pedro Betancourt

Kevin Arismendy González Rosario

Antes que nada quisiera agradecerle a Dios por darme salud y fuerzas para llegar hasta este momento, a mi familia por guiarme por un buen camino desde el principio aunque no haya llegado al final, a Elidy Herrera por comenzar y terminar este periodo juntos en apoyo mutuo y por ser de esas personas que te marcan en la vida, a Edwin Ramírez por estar desde el primer cuatrimestre juntos y siempre estar disponible y en la mejor disposición para ofrecer su ayuda y ser de esos compañeros que se convierten en muy buenos amigos, a Ricardo Turbides y Cesar Feliz por darnos la mejor asesoría que pudimos desear durante el Trabajo de Grado con sus amplios conocimientos en el área, agradezco a todos mis compañeros que fue un largo camino durante estos cuatro años pero siempre estuvimos ayudándonos para poder terminar juntos.

Edwin Jesús Ramírez Tejeda

Totalmente agradecido con **Dios**, porque sin Dios nada. Gracias padre por no desampararme, por ser mi soporte y fortaleza en momentos de debilidad.

Gracias a mis padres, **Jesús Ramírez y Margarita Tejeda** por su apoyo incondicional en todo el sentido de la palabra, gracias por predicar con el ejemplo. Mis triunfos educativos y profesionales son los resultados de sus enseñanzas y los buenos valores que me han inculcado.

A **Oneida De La Rosa**, a quien está demás decirle que la quiero como una madre. Estoy y estaré totalmente agradecido con usted mientras vida tenga, no tengo, ni creo tener con que pagar todo el tiempo, cariño, amor, aprecio demostrado y brindado por su persona hacia mí y mi familia.

A mis hermanos, **Jesús Edwin, Jesús Eusebio, Margaret Orquidea y Ariela Margarita,** por siempre estar presente y creer en mí.

A mis compañeros de clases y maestros, especialmente a **Elidy Herrera** y **Kevin González** quienes durante el transcurso de mis estudios de grado nunca me desampararon y en los momentos cuando más necesité dijeron presente.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN 3
DEDICATORIA 5
AGRADECIMIENTOS 6
TABLA DE CONTENIDO 8
LISTA DE TABLAS 10
LISTA DE ILUSTRACIONES 12
INTRODUCCIÓN 14
CAPÍTULO I: EL ACONDICIONADOR DE AIRE 19
1.1. Historia de los Acondicionadores de Aire 19
1.2. Conceptos básicos 24
1.3. Sistemas de Refrigeración y Climatización 32
1.3.1. Eficiencia energética en aires acondicionados 32
1.3.2. Cálculo de la demanda de potencia eléctrica de los Sistemas de refrigeración y climatización. 32
1.3.3. Principio del aire acondicionado. 33
1.3.4. Descripción general de los Sistemas de Aires Acondicionados 33
1.3.5. Sistemas Acondicionadores de Aire Split 34
1.3.6. Sistemas Acondicionadores de Aire Multi-Split 35
1.3.7. Sistemas de Flujo Variable de Refrigerante (VRF) 38
1.3.8. Tipos de VRF 41
1.3.9. Tipo de refrigeración Sistema VRF 42
1.3.10. Sistema de recuperación de calor VRF (VRF-HR) 42
1.3.11. Modulación de refrigerante en un sistema VRF 44
1.3.12. Válvula de Expansión Electrónica (EEV) 46
1.3.13. Consideraciones de diseño para Sistemas VRF 47
1.3.14. Características del edificio 47
1.3.15. Perfil de Carga del Edifico 49
1.3.16. Calefacción y enfriamiento simultáneos 51
1.3.17. Primeros Costes 52

1.3.18. Ventajas de Sistema VRF 52
1.3.19. Limitaciones del Sistema VRF 59
CAPÍTULO II: ANÁLISIS, PLANTEAMIENTO Y CÁLCULOS 67
2.1. Cálculo de Ganancias de Calor en Recintos 68
2.2. Conducción a través de la estructura exterior. 69
2.3. Conducción a través de la estructura interior 70
2.4. Radiación solar a través de vidrios 71
2.5. Alumbrado 72
2.6. Personas 73
2.7. Equipos 74
2.8. Infiltración 74
2.8.1. Efecto del aire de infiltración sobre ganancia de calor latente. 75
2.9. Carga de enfriamiento o de refrigeración 77
2.9.1. Ventilación 77
2.10. Condiciones de Diseño 78
2.11. Cálculo de carga de enfriamiento de cada Aula del Edificio II de la Universidad APEC. 78
2.12. Potencia total instalada en el Edificio II de la Universidad APEC 92
2.12.1. Comparación de las Toneladas de Refrigeración instaladas versus las Toneladas de Refrigeración necesarias 94
2.13. Facturación Eléctrica del Campus II de la Universidad APEC 96
2.13.1. Consumo Energético y Potencia Máxima registrada 98
2.13.2. Cálculo Monetario de Energía Eléctrica Mensual 99
CAPÍTULO III: PROPUESTA TECNICO ECONÓMICA Y PROYECCIÓN FINANCIERA 103
3.1. Informe general técnico del sistema propuesto 103
3.1.1. Descripción de los equipos y componentes utilizados 103
3.1.2. Planos y diagramas 105
3.1.3. Especificaciones del sistema 106
3.1.4. Potencia nominal del sistema VRF propuesto 109
3.1.5. Estimación de consumo 110
3.2. Informe económico del sistema propuesto 114
3.2.1. Presupuesto 114
3.2.2. Tiempo de retorno máximo y rentabilidad de la inversión 115
CONCLUSIONES 117

RECOMENDACIONES 119
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 121
ANEXOS O APÉNDICES 124

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Comparación de VRF y sistemas HVAC unitarios 66
Tabla 2. Tasas máximas recomendadas de infiltración para diseño a través de ventanas y puertas exteriores. 76
Tabla 3. Carga de enfriamiento del aula 0201, Fuente: Elaboración Propia 79
Tabla 4. Carga de enfriamiento del aula 0202, Fuente: Elaboración Propia. 79
Tabla 5. Carga de enfriamiento del aula 0203, Fuente: Elaboración Propia. 80
Tabla 6. Carga de enfriamiento del aula 0204, Fuente: Elaboración Propia 80
Tabla 7. Carga de enfriamiento del aula 0205, Fuente: Elaboración Propia. 81
Tabla 8. Carga de enfriamiento del aula 0206, Fuente: Elaboración Propia. 81
Tabla 9. Carga de enfriamiento del aula 0207, Fuente: Elaboración Propia. 82
Tabla 10. Carga de enfriamiento del aula 0208, Fuente: Elaboración Propia. 82
Tabla 11. Carga de enfriamiento del aula 0209, Fuente: Elaboración Propia. 83
Tabla 12. Carga de enfriamiento del aula 0210, Fuente: Elaboración Propia. 83
Tabla 13. Carga de enfriamiento del aula 0211, Fuente: Elaboración Propia. 84
Tabla 14. Carga de enfriamiento del aula 0212, Fuente: Elaboración Propia. 84
Tabla 15. Carga de enfriamiento del aula 0213, Fuente: Elaboración Propia. 85
Tabla 16. Carga de enfriamiento del aula 0214, Fuente: Elaboración Propia. 85
Tabla 17. Carga de enfriamiento del aula 0215, Fuente: Elaboración Propia. 86
Tabla 18. Carga de enfriamiento del aula 0216, Fuente: Elaboración Propia. 86
Tabla 19. Carga de enfriamiento del aula 0217, Fuente: Elaboración Propia. 87
Tabla 20. Carga de enfriamiento del aula 0218, Fuente: Elaboración Propia. 87
Tabla 21. Carga de enfriamiento del Cubículo 1, Fuente: Elaboración Propia 88
Tabla 22. Carga de enfriamiento del Cubículo 2, Fuente: Elaboración Propia. 88
Tabla 23. Carga de enfriamiento del Cubículo 3, Fuente: Elaboración Propia. 89
Tabla 24. Carga de enfriamiento del Cubículo 4, Fuente: Elaboración Propia. 89
Tabla 25. Carga de enfriamiento del Cubículo 4, Fuente: Elaboración Propia. 90
Tabla 26. Carga de enfriamiento del Edificio II, Fuente: Elaboración Propia. 90

Tabla 27. Ganancia de calor por equipos, Fuente: Elaboración Propia. 91
Tabla 28. Potencia Instalada según tipo de equipo en el Edificio II de la Universidad APEC, Fuente: Elaboración Propia 93
Tabla 29. Comparación entre las Toneladas instaladas y las necesarias, Fuente: Elaboración Propia. 95
Tabla 30. Energía consumida y Potencia Máxima registrada, Fuente: Facturación Eléctrica Universidad APEC, 2017. 98
Tabla 31. Calculo monetario de la facturación eléctrica de la Universidad APEC, Fuente: Facturación Eléctrica Universidad APEC, 2017. 101
Tabla 32. Resumen de la facturación eléctrica de la Universidad APEC Fuente: Facturación Eléctrica Universidad APEC, 2017. 101
Tabla 33. Especificaciones Eléctricas Unidades de Interior. Fuente: Elaboración propia. 107
Tabla 34. Especificaciones Eléctricas Unidades de Interior. Fuente: Elaboración propia. 108
Tabla 35. Especificaciones técnicas de las unidades. Fuente: Elaboración propia. 108
Tabla 36. Ratio de Capacidad Interior y Exterior. Fuente: Elaboración propia. 109
Tabla 37. Potencia instalada total del sistema propuesto. Fuente: Elaboración propia. ..109
Tabla 38. Horas de trabajo de cada aula. Fuente: Elaboración propia. 110
Tabla 39. Energía total del sistema de AA propuesto. Fuente: Elaboración propia. 111
Tabla 40. Energía total del sistema de AA actual. Fuente: Elaboración propia. 112
Tabla 41. Resumen de potencia y energía de sistema de AA. Fuente: Elaboración propia. 112
Tabla 42. Ahorro económico estimado. Fuente: elaboración propia. 112
Tabla 43. Facturación estimada con el sistema propuesto instalado. Fuente: elaboración propia. 113

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Sistemas Acondicionadores de Aire Split, Fuente: (Bathia, 2014). 35

Ilustración 2. Sistema multi-Split típico, Fuente: (Bathia, 2014). 36

Ilustración 3. Sistema VRF con múltiples unidades evaporadoras de interior, Fuente: (Bathia, 2014).....39

Ilustración 4. Distribución y control de un Sistema de climatización VRF, Fuente: (Bathia, 2014).....40

Ilustración 5. Tuberías para sistema de climatización, Fuente: (Bathia, 2014).....40

Ilustración 6. Diferencia entre la distribución por tuberías en un Sistema Multi Split (izquierda) vs un Sistema VRF (derecha), Fuente: (Bathia, 2014).....41

Ilustración 7. Sistema de bomba de calor VRF, Fuente: (Bathia, 2014).....41

Ilustración 8. Sistema de Recuperación de Calor Tipo VRF, Fuente: (Bathia, 2014). 43

Ilustración 9. Modulación refrigerante en un sistema VRF, Fuente: (Bathia, 2014).....44

Ilustración 10. Distribución de unidades exteriores e interiores, Fuente: (Bathia, 2014). ..48

Ilustración 11. Límite de diseño de unidades de sistema, Fuente: (Bathia, 2014).....49

Ilustración 12. Perfil de carga típico en una oficina, Fuente: (Bathia, 2014).....50

Ilustración 13. Representación de la diversidad de temperatura que permite el sistema VRF, Fuente: (Bathia, 2014).....52

Ilustración 14. Diversidad de diseño que permite el sistema VRF, Fuente: (Bathia, 2014). 54

Ilustración 15. Sistema Split de unidades uno a uno, Fuente: (Bathia, 2014). 55

Ilustración 16. Sistema VRF en conjunto, Fuente: (Bathia, 2014).....55

Ilustración 17. Sistema Split uno a uno (izquierda) vs Sistema VRF (derecha), Fuente: (Bathia, 2014).....57

Ilustración 18. Falla en una unidad interior, Fuente: (Bathia, 2014). 57

Ilustración 19. Tipos de evaporadoras, Fuente: (Bathia, 2014).....58

Ilustración 20. Componentes de paredes, techo y vidrio, Q., Fuente: (Pita, 1994).....68

Ilustración 21. Porcentaje de ganancia de calor del Edificio II (BTU/H), Fuente: Elaboración Propia. 91

Ilustración 22. Gráfico de potencia Instalada según tipo de equipo en el Edificio II, Fuente: Elaboración Propia 94

Ilustración 23. Cuadro Tarifario SIE, Fuente: Resolución SIE-069-2017-TF. 96

Ilustración 24. Información de contrato de energía eléctrica, Fuente: Facturación Eléctrica Universidad APEC, 2017. 97

Ilustración 25. Gráfico de la variación de la Energía consumida y Potencia Máxima registrada, Fuente: Facturación Eléctrica Universidad APEC, 2017. 99

Ilustración 26. Gráfico de la variación de la Energía consumida con relación al Costo de la facturación, Fuente: Facturación Eléctrica Universidad APEC, 2017. 102

Ilustración 27. Unifilar de distribución unidades exteriores e interiores del Sistema I. Fuente: Diseño propio en VRF Selector Lennox ®. 105

Ilustración 28. Unifilar de distribución unidades exteriores e interiores del Sistema II. Fuente: Diseño propio en VRF Selector Lennox ®. 106

INTRODUCCIÓN

La climatización es el proceso de tratamiento del aire donde se controla simultáneamente su temperatura, humedad, limpieza y distribución para responder a las exigencias del espacio climatizado, de acuerdo con la actividad realizada. Estos factores determinan el confort térmico.

Se entiende por confort térmico la sensación de completo bienestar físico, desde un punto de vista de equilibrio en el intercambio de calor, en el que el ambiente y el calor producido por las personas y / o equipo se neutralizan mutuamente. En un ambiente cerrado son cuatro los factores ambientales que intervienen directamente en el confort térmico: temperatura del aire, humedad, movimiento del aire y pureza del aire. La comodidad térmica es importante para el bienestar de los seres humanos, el buen funcionamiento de algunos equipos, procesos industriales que requieran un cambio de temperatura fuerte en algún fluido o un área que necesite tener una temperatura determinada para mantener o conservar algún tipo de producto.

No fue hasta principios del siglo XX que el ingeniero Willis Carrier inició con el desarrollo de un nuevo invento capaz de controlar la temperatura y la humedad, el Aire Acondicionado. Instaló el primer sistema privado de Aire Acondicionado en 1914, y una vez desarrollado, las primera empresas de climatización comenzaron a aparecer a partir de los años 20’s en los Estados Unidos, y ya terminada la Segunda Guerra Mundial se generalizó el uso de equipos de Aire Acondicionado por todo el mundo.

Los acondicionadores de aire funcionan bajo el ciclo de refrigeración, en este ciclo circula un refrigerante cuya función es la de reducir o mantener la temperatura de un determinado ambiente por debajo de la temperatura del entorno. Para ello, se debe extraer calor del espacio que deseamos refrigerar y transferirlo a otro cuerpo cuya temperatura sea inferior, que pasa por diversos estados o condiciones. Cada uno de estos cambios se denomina “procesos”.

El refrigerante comienza en un estado o condición inicial, pasa por una serie de procesos según una secuencia definida y vuelve a su condición inicial. El conjunto de esta serie de procesos del llamado ciclo de refrigeración se compone de cuatro procesos fundamentales: Expansión, evaporación, compresión y condensación

El acondicionador de aire ha resuelto un sinnúmero de problemas que anteriormente eran retos pero con esto ha traído otros los cuales son necesarios resolver, el principal problema del acondicionador de aire es que debido a los componentes que lleva consume mucha energía eléctrica en comparación a los equipos que se usan de forma cotidiana, ya que dependiendo de la capacidad del sistema a instalar se necesitará un compresor con la capacidad necesaria y a medida que aumente, igual irá aumentando el consumo de éste.

El término de flujo variable de refrigerante (VRF) se refiere a la capacidad del sistema para controlar la cantidad de refrigerante que fluye a las múltiples evaporadoras (unidades interiores), permitiendo el uso de muchos evaporadores de diferentes capacidades y configuraciones conectadas a una única unidad condensadora. Este tipo de arreglo proporciona un control individualizado de confort al igual que calefacción y enfriamiento simultáneos en diversas zonas.

Los sistemas VRF ajustan continuamente el flujo de refrigerante a cada evaporador interior. El control se logra variando continuamente el flujo de refrigerante a través de una válvula moduladora de pulsos (PMV) cuya apertura está determinada por el microprocesador que recibe información de los termistores en cada unidad interior.

Los equipos actuales del sistema de climatización del Edificio ll, del campus de Ingeniería de la Universidad APEC son del tipo **convencionales,** los cuales presentan una baja eficiencia energética con relación a los equipos de última generación.

Cuando decimos baja eficiencia energética nos referimos a que, para la misma cantidad de calor removido, se necesita un mayor consumo eléctrico en comparación al que registran los sistemas actuales, como la tecnología inverter,

agua helada, o en su defecto, nuestro caso de investigación, los sistemas de volumen variable de refrigerante (VRF).

El **principal objetivo** del presente trabajo de grado es demostrar técnica y económicamente que, sustituyendo los equipos convencionales instalados en las Aulas del Edificio II del campus de Ingeniería, por un sistema de Flujo Variable de Refrigerante (VRF) habrá un ahorro considerable en la Facturación Eléctrica.

Para esto, se planteó como **objetivo específico** realizar un estudio de las Cargas Caloríficas por aulas con las normativas establecidas por la *Sociedad Estadounidense de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (ASHRAE)* y de esta manera seleccionar el equipo adecuado en cada aula dependiendo el uso de éstas.

Con los equipos ya seleccionados, entonces estimar mediante cálculos, el consumo energético que registrarían los mismos, y comparar este con el consumo energético que registra el sistema actual en la facturación eléctrica. Llevar ambas situaciones a un rango económico y calcular el ahorro económico que representaría un sistema con relación al otro. Además, de elaborar una propuesta económica de los equipos seleccionados y en la que se evalúa el tiempo de retorno de la inversión en función al consumo actual de energía eléctrica con respecto a los beneficios obtenidos con el nuevo sistema.

En este trabajo de grado se utilizaron los siguientes métodos de investigación:

Método de la observación, con este se logró entrar en el área de estudio y examinar la eficiencia energética de las unidades de aire acondicionados instaladas en la actualidad, lo que representa un porcentaje considerable en la facturación eléctrica.

Método deductivo, por deducción se entiende toda conclusión a la que lleguemos luego de un raciocinio lógico. En este caso de estudio se planteó el problema a partir de las observaciones realizadas en los casos particulares.

Método analítico, pues luego de realizado el levantamiento de los equipos instalados se interpretaron los datos obtenidos sobre el estado actual de los equipos de climatización del edificio II del Campus II de la Universidad APEC.

Dada la naturaleza del problema, en este trabajo de grado se implementaron varios tipos de investigaciones con la finalidad de ser lo más explícito posible, en cuanto a la presentación de la propuesta técnica – económica para optimizar el sistema de climatización convencional del edificio II, Universidad APEC, Campus II, utilizando un sistema de Volumen Variable de Refrigerante (VRF).”

Descriptiva, puesto que además de plantear la problemática a un nivel específico, también se proyectará a través del análisis los beneficios que se obtendrían en la facturación eléctrica, si se realizan las mejoras planteadas en la climatización del edificio II, del campus de Ingeniería, Universidad APEC.

Para la recopilación de datos se utilizaron las técnicas de investigación descritas a continuación:

Fuentes documentales y bibliográficas, tales como: libros, artículos, sitios web, entre otras.

Observación: comprende el ambiente con los aspectos explícitos e implícitos, sin subjetividad e interrupciones. Esto amerita un levantamiento in situ. El levantamiento comprende la observación y recolección de fichas técnicas de los equipos del sistema de climatización instalados en la actualidad para su posterior análisis.

Por otra parte, mediante la observación se logró recopilar datos de vital importancia como tipo de pared, techo, cielo raso, piso, alumbrado, personas que utilizan el espacio a climatizar, equipos, entre otros datos que luego de analizados permiten realizar cálculos para determinar las cargas de refrigeración necesaria de los nuevos equipos.

Estudio de las estadísticas de Facturación Eléctrica: estos provenientes de la recuperación de facturas eléctricas emitidas por la empresa distribuidora de electricidad EDESUR para el Campus II de la Universidad APEC desde enero del año 2016 hasta octubre del año 2017.

CAPÍTULO I: EL ACONDICIONADOR DE AIRE

1.1. Historia de los Acondicionadores de Aire

En la antigüedad, los **egipcios** ya utilizaban sistemas y métodos para reducir el calor. Se utilizaba principalmente en el palacio del faraón, cuyas paredes estaban formadas por enormes bloques de piedra, con un peso superior a mil toneladas. Durante la noche, tres mil esclavos desmantelaban las paredes y acarreaban las piedras al Desierto del Sahara. Como el clima desértico es extremo y la temperatura disminuye a niveles muy bajos durante las horas nocturnas, las piedras se enfriaban notablemente. Justo antes de que amaneciera, los esclavos acarreaban de regreso las piedras al palacio y volvían a colocarlas en su sitio. Se supone que el faraón disfrutaba de temperaturas alrededor de los 26° Celsius, mientras que afuera la temperatura subía hasta casi el doble. Si entonces se necesitaban miles de esclavos para poder realizar la labor de acondicionamiento del aire, actualmente esto se efectúa fácilmente.

Fuente: (González, s.f.)

Casi todas las evidencias apuntan a que fueron los chinos los primeros en almacenar hielo y nieve para enfriar el vino y otros alimentos. Se ha encontrado pruebas de que los sótanos de almacenamiento de hielo se utilizaban en china ya en el año **1000 a.C**. Los griegos y los romanos también utilizaban, para guardar hielo, almacenes subterráneos, que cubrían con paja, maleza y otros materiales para proporcionar aislamiento y preservar el hielo durante largos períodos de tiempo.

Los **antiguos egipcios e indios** enfriaban líquidos utilizando jarras de barro poroso. Estas jarras se disponían de modo que circulara sobre ellas el aire seco nocturno y el líquido que rezumaba a través de paredes porosas de las jarras se evaporaba para proporcionar el enfriamiento. Algunas evidencias apuntan a que se

producía hielo mediante la evaporación del agua a través de las paredes de estas jarras que hacía que se irradiara calor hacia el aire nocturno.

En los **siglos XVIII y XIX** se cortaba hielo de los lagos y estanques en el invierno, en las zonas septentrionales, y se almacenaba bajo tierra para utilizarlo en los meses más cálidos. Parte de ese hielo se empaquetaba con serrín y se transportaba a las zonas meridionales, con el fin de utilizarlo para preservar alimentos. A principios del siglo XX, seguía siendo común que en los países meridionales cortar hielos en los estanques y almacenarlo en depósitos de hielo a cielo abierto. Este hielo se aislaba mediante serrín y se repartían a las casas y a los comercios.

En **1834**, El estadounidense Jacob Perkins desarrolló un sistema de refrigeración cerrado, utilizando el mecanismo de expansión de un líquido y de compresión para producir un efecto de enfriamiento. Utilizó éter como refrigerante, un compresor operado a mano, un condensador enfriado por agua y un evaporador, para construir un enfriador de líquidos, obteniendo una patente para este sistema en el Reino Unido. Ese mismo año, también en el Reino Unido, L. W. Wright produjo hielo mediante la expansión de aire comprimido. Los aparatos de refrigeración mecánicos fueron desarrollados en primer lugar para producir hielo.

Durante el **siglo XIX**, fueron diseñados otros sistemas de refrigeración en los EE. UU., en Australia y en Inglaterra. En los años siguientes, se realizaron muchas mejoras en los diseños de los equipos y, en la década del 1930, la refrigeración estaba ya en proceso de ser utilizada ampliamente en casas y comercios.

Fuente: (Whitman & Johnson, 2000)*. Pág. 8*

En **1842**, Lord Kelvin inventó el principio del aire acondicionado. Con el objetivo de conseguir un ambiente agradable y sano, el científico creó un circuito frigorífico hermético basado en la absorción del calor a través de un gas refrigerante. Para ello, se basó en 3 principios:

- El calor se transmite de la temperatura más alta a la más baja, como cuando enfriamos un café introduciendo una cuchara de metal a la taza y ésta absorbe el calor.
- El cambio de estado del líquido a gas (evaporación) absorbe calor. Por ejemplo, si humedecemos la mano en alcohol, sentimos frío en el momento en que éste se evapora, puesto que absorbe el calor de nuestra mano.
- La presión y la temperatura están directamente relacionadas. En un recipiente cerrado, como una olla, necesitamos proporcionar menor cantidad de calor para llegar a la misma temperatura que en uno abierto.

A partir de ese momento se avanzó mucho en este campo, hasta que, en 1902, Willis Haviland Carrier sentó las bases de la refrigeración moderna, creando un equipo que controlaba la temperatura y la humedad, dando lugar a la primera unidad de aire acondicionado de la Historia. Carrier recibió en 1906 una patente para su método. Carrier comprendió la relación entre temperatura, humedad y punto de condensación, y en **1911** reveló su *Fórmula Racional Psicométrica Básica* en la que se basan los sistemas de refrigeración actuales.

En **1915**, entusiasmados por el éxito, Carrier y seis amigos ingenieros reunieron 32,600 dólares para formar la Compañía de Ingeniería Carrier, dedicada a la innovación tecnológica de su único producto, el aire acondicionado. Algunos de los primeros clientes de la compañía fueron el Madison Square Garden, los departamentos del senado de los Estados Unidos y la cámara de representantes.

En **1921**, Willis Haviland Carrier patentó la Máquina de Refrigeración Centrífuga. También conocida como enfriadora centrífuga o refrigerante centrifugado, fue el primer método para acondicionar el aire en grandes espacios. El nuevo sistema se estrenó en 1924 en la tienda departamental Hudson de Detroit, Michigan

Fuente: (González, s.f.)

Instaló el primer aire acondicionado doméstico en una casa en Minneapolis, Minnesota en el año **1914**. Carrier trasladó su compañía a Syracuse (Nueva York) en los años **1930**, y la compañía llegó a ser una de las que más empleados tenían

en Nueva York. En **1930**, inauguró Tokyo Carrier en Japón, país que es hoy el mayor mercado de aire acondicionado del mundo.

La compañía fue pionera en diseño y fabricación de máquinas de refrigeración de espacios grandes. Aumentando la producción industrial durante el verano, el aire acondicionado revolucionó la vida norteamericana. La introducción del aire acondicionado residencial en los años 1920 ayudó a iniciar la gran migración a las zonas cálidas del sur.

Fuente: (Willis Haviland Carrier, 2017)

A pesar de los avances obtenidos en las tecnologías de refrigeración, para la década de 1920 estos sistemas eran demasiado grandes y costosos para los hogares. Partiendo de la tecnología existente, en el año 1929 Frigidaire introdujo al mercado un nuevo Acondicionador de Aire Split que era lo suficientemente pequeño para uso doméstico. Sin embargo, el sistema era pesado, costoso y requería una unidad de condensación separada y controlada a distancia. Frank Faust de General Electric mejoró este diseño, desarrollando un sistema de Acondicionadores de Aires independiente, y General Electric terminó produciendo 32 prototipos similares de 1930 a 1931.

Alrededor de esta misma época, Thomas Midgley, Albert Henne y Robert McNary de General Motors sintetizaron refrigerantes de clorofluorocarbono (CFC), que se convirtieron en los primeros fluidos refrigerantes no inflamables del mundo, mejorando sustancialmente la seguridad de los aires acondicionados.

Los sistemas de refrigeración domésticos se hicieron más pequeños después de que H.H. Schultz y J.Q. Sherman presentaran una patente para una unidad de aire acondicionado que podría colocarse en el hueco de una ventana. Las unidades llegaron al mercado en 1932 pero no se compraron ampliamente debido a su alto costo.

El ingeniero Henry Galson pasó a desarrollar una versión más compacta y económica del aire acondicionado de ventana y creó líneas de producción para varios fabricantes. En 1947, se vendieron 43,000 de estos sistemas y, por primera vez, los propietarios podían disfrutar del aire acondicionado sin tener que realizar costosas inversiones.

A medida que el uso del aire acondicionado se disparó en la década de 1970, una crisis energética golpeó a EE. UU. En respuesta, los legisladores aprobaron leyes para reducir el consumo de energía en general, preparando el escenario para el Programa de Estándares de Equipos y Aparatos del Departamento de Energía, que establece un estándar federal único de eficiencia energética para los fabricantes de acondicionadores de aire en lugar de un conjunto de estándares estado por estado.

Estas medidas conllevaron a que las empresas que manufacturaban las unidades de acondicionadores de aires desarrollaran equipos más eficientes.

Fuente: (ENERGY.GOV, 2015)

El año **1982** marcó una nueva era en el sector de la climatización, cuando la empresa japonesa Daikin lanzó el sistema de climatización VRV.

Daikin desarrolla el sistema VRV: primer equipo de climatización Multisplit para edificios comerciales. Antes de la llegada del sistema VRV, el control de zonas individuales, para los equipos de climatización, se veía como un gran reto. El lanzamiento del sistema VRV cambió drásticamente las expectativas de los equipos de climatización para edificios comerciales.

Para el año **1990** Daikin desarrolla el equipo de climatización VRV condensado por agua. Esta unidad es una alternativa perfecta cuando las unidades VRV condensadas por aire no pueden utilizarse debido a la longitud de los tubos de refrigerante. En el mismo año gracias a la tecnología de recuperación de calor, el equipo de climatización VRV logra calefacción y refrigeración simultáneas con solo una unidad exterior.

Fuente: (Daikin, s.f.)

El desarrollo de las unidades acondicionadoras de aire ha logrado tal progreso que los acondicionadores de aire actuales usan aproximadamente un 50 por ciento menos de energía que en la década de 1990.

1.2. Conceptos básicos

Aparato acondicionador de Aire

Aparato que permite la refrigeración y eventualmente la calefacción, de un espacio mediante su simple conexión a la red de energía eléctrica, sin requerir otras instalaciones adicionales o complementarias para su correcto funcionamiento. *(Libro: Miranda, A. L. (1996). AIRE ACONDICIONADO. Barcelona, España: Ceac, S.A. Pág.: 334).*

ASHRAE

La Sociedad Estadounidense de Aire Acondicionado, Refrigeración y Calefacción (ASHRAE) es una sociedad internacional técnica dedicada a mejorar la calidad de vida a través de los avances tecnológicos relacionados a la calefacción, refrigeración, aire acondicionado y ventilación (HVACR).

(ASHRAE Guadalajara Chapter, 2011)

Calor

Es la forma o manifestación de energía propia de los movimientos a que están sujetas las moléculas que constituyen los cuerpos. Al calentarse un cuerpo aumenta la energía cinética de las moléculas, produciéndose choques más o menos violentos, según la cantidad de calor entregada, en el proceso de enfriamiento ocurre lo contrario. El calor puede cuantificarse entonces teniendo en cuenta dos magnitudes fundamentales: intensidad de calor y cantidad de calor. *(Libro:*

Hernández, L. P., & Martínez Gómez, M. A. (2014). ESTUDIO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE EQUIPOS Y SISTEMAS DE AIRE ACONDICIONADO EN LA EDIFICACIÓN DEL BLOQUE G DE LA UNIVERSIDAD DEL CARIBE. Barranquilla.Pág.:12).

Climatización

Es el proceso de tratamiento del aire que se efectúa a lo largo de todo el año, controlando en los espacios interiores, su temperatura, humedad, pureza y movimiento. (Libro: Miranda, A. L. (1996). AIRE ACONDICIONADO. Barcelona, España: Ceac, S.A. Pág.: 334).

Climatizador

Unidad de tratamiento del aire sin producción propia de frío o calor. (Libro: Miranda, A. L. (1996). AIRE ACONDICIONADO. Barcelona, España: Ceac, S.A. Pág.: 335).

Climatizadora

El aire debe someterse a diversas operaciones, tales como:

- Enfriamiento o calefacción.
- Mezcla con aire exterior.
- Humidificación.
- Filtrado.
- Impulsión mediante un ventilador.

Todas estas operaciones se llevan a cabo en una unidad llamada << Climatizadora>>. (Libro: Miranda, A. L. (1996). AIRE ACONDICIONADO. Barcelona, España: Ceac, S.A. Pág.: 209).

Condensación

Es un cambio de estado gaseoso a líquido. *(Libro: AIR-CONDITIONING AND REFRIGERATION INSTITUTE. (1994). MANUAL DE AIRE ACONDICIONADO Y*

REFRIGERACIÓN. TORONTO: PRENTICE-HALL HISPANOAMERICANA, S.A. Pág. 14).

Condensador

Es un componente principal del ciclo de refrigeración. Básicamente, es otra unidad de intercambio de calor en la cual el calor que el refrigerante recogió en el evaporador, y también el que se le agregó en el compresor, se disipa a algún medio de condensación. (*Libro: AIR-CONDITIONING AND REFRIGERATION INSTITUTE. (1994). MANUAL DE AIRE ACONDICIONADO Y REFRIGERACIÓN. TORONTO: PRENTICE-HALL HISPANOAMERICANA, S.A. Pág. 67.)*

El compresor de aire acondicionado

El compresor se clasifica con frecuencia como el corazón del sistema, porque es el que hace circular el refrigerante por el sistema. Las funciones que lleva a cabo son:

- ➢ Recibir o eliminar el vapor de refrigerante del evaporador, de modo que se puedan mantener en él la temperatura y presión deseada.
- ➢ Aumentar la presión de vapor de refrigerante mediante el proceso de compresión, y en forma simultánea aumentar la temperatura del vapor para que ceda su calor al medio de enfriamiento del condensador.

(Libro: AIR-CONDITIONING AND REFRIGERATION INSTITUTE. (1994). MANUAL DE AIRE ACONDICIONADO Y REFRIGERACIÓN. TORONTO: PRENTICE-HALL HISPANOAMERICANA, S.A. Pág. 62).

Eficiencia energética

Obtención de los mismos bienes y servicios energéticos, pero con mucha menos energía, con la misma o mayor calidad de vida, con menos contaminación, a un precio inferior al actual, alargando la vida de los recursos y con menos conflicto.

(Libro: Hernández, L. P., & Martínez Gómez, M. A. (2014). ESTUDIO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE EQUIPOS Y SISTEMAS DE AIRE

ACONDICIONADO EN LA EDIFICACIÓN DEL BLOQUE G DE LA UNIVERSIDAD DEL CARIBE. Barranquilla.Pág.:12).

Elemento de expansión

Generalmente es una válvula de expansión que hace que el líquido que sale del condensador pierda presión antes de pasar al evaporador. *(Libro: Miranda, A. L. (1996). AIRE ACONDICIONADO. Barcelona, España: Ceac, S.A. Pág.: 209).*

Energía

Es la capacidad que posee un cuerpo para realizar trabajo.

Equipo de distribución

Es el conjunto de tuberías y conductos que distribuyen el aire o el agua tratada a los distintos lugares donde se necesite. *(Libro: Miranda, A. L. (1996). AIRE ACONDICIONADO. Barcelona, España: Ceac, S.A. Pág.: 209).*

Equipo de producción de Frío

Es la máquina que enfría el aire o el agua (o las dos cosas) que se emplearán en el acondicionamiento. *(Libro: Miranda, A. L. (1996). AIRE ACONDICIONADO. Barcelona, España: Ceac, S.A. Pág.: 209).*

Evaporador

El evaporador o serpentín de enfriamiento es la parte del sistema de refrigeración donde se absorbe parte el calor del producto: aire, agua o lo que se vaya a enfriar. *(Libro: AIR-CONDITIONING AND REFRIGERATION INSTITUTE. (1994). MANUAL DE AIRE ACONDICIONADO Y REFRIGERACIÓN. TORONTO: PRENTICE-HALL HISPANOAMERICANA, S.A. Pág. 6).*

Factor de potencia

La relación de potencia consumida (vatios) frente al producto de tensión de entrada (voltios) por la corriente de entrada (amperios). En otras palabras, el factor de potencia es el porcentaje de energía que se utiliza en comparación con el flujo de energía que discurre por el cableado. Fuente: (FLUKE, s.f.)**.**

Frio

Frío es un término relativo que describe el nivel de energía, o temperatura, de un objeto o área, en comparación con un nivel o temperatura conocido. (Libro: *AIR-CONDITIONING AND REFRIGERATION INSTITUTE. (1994). MANUAL DE AIRE ACONDICIONADO Y REFRIGERACIÓN. TORONTO: PRENTICE-HALL HISPANOAMERICANA, S.A. Pág. 6)*

Humedad

Es el contenido de vapor de agua en el aire, se controla agregando o eliminando vapor de agua al aire (humidificación o deshumidificación). *(Libro: Pita, E. G. (s.f.). (1994). ACONDICIONAMIENTO DE AIRE (SEGUNDA ed.). Pág.: 178).*

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 del bulbo seco. Se expresa en porciento. *(Libro: Pita, E. G. (s.f.). (1994). ACONDICIONAMIENTO DE AIRE (SEGUNDA ed.). Pág.: 178).*

Limpieza

La limpieza y calidad del aire se basa en la limitación del número de partículas físicas en suspensión en el aire. Estas partículas pueden ser inertes, como el polvo, pero aún pueden seguir favoreciendo el crecimiento de microorganismos o estar compuestas por microorganismos como bacterias, levaduras o mohos. Fuente: (Armnstrong, s.f.)

Movimiento del aire

El movimiento del aire se refiere a su velocidad y a los lugares hacia donde se distribuye. Se controla mediante el equipo adecuado para distribución de aire. *(Libro: Pita, E. G. (s.f.). (1994). ACONDICIONAMIENTO DE AIRE (SEGUNDA ed.). Pág.: 178).*

Potencia Eléctrica

Rapidez con la que se entrega energía a un elemento de circuito o se extrae de éste. *(Libro: ZEMANSKY, S. (s.f.). FÍSICA UNIVERSITARIA CON FÍSICA MODERNA (Decimosegunda ed., Vol. 2). Pág. 863)*

Refrigeración

La refrigeración es un proceso que consiste en bajar o mantener el nivel de calor de un cuerpo o un espacio. Fuente: (Wikipedia, 2017)

Refrigerante

Los refrigerantes son sustancias químicas que se usan para absorber calor por evaporación o ebullición del estado líquido al estado de vapor, y eliminar calor del estado de vapor al estado líquido por condensación. *(Libro: AIR-CONDITIONING AND REFRIGERATION INSTITUTE. (1994). MANUAL DE AIRE ACONDICIONADO Y REFRIGERACIÓN. TORONTO: PRENTICE-HALL HISPANOAMERICANA, S.A. Pág. 6)*

Relación de humedad (W)

A la cual también se le llama humedad especifica. Es el peso de vapor de agua por libra de aire seco, expresado en lb/lb de aire seco, o en granos de agua por libra de aire seco. *(Libro: Pita, E. G. (s.f.). (1994). ACONDICIONAMIENTO DE AIRE (SEGUNDA ed.). Pág.: 178).*

Sistema HVAC

Un sistema HVAC es un sistema de ventilación, calefacción y aire acondicionado (HVAC, por sus siglas en inglés de Heating, Ventilating and Air Conditioning). Se trata de un conjunto de métodos y técnicas que estudian y trabajan sobre el tratamiento del aire en cuanto a su enfriamiento, calentamiento, deshumidificación, calidad, movimiento, entre otras variables.

La finalidad de un sistema HVAC, es proporcionar una corriente de aire, calefacción y enfriamiento adecuado a cada área; manteniendo de forma fiable los valores requeridos de temperatura, humedad del aire y calidad del aire, con independencia de las fluctuaciones en el ambiente (zonas adyacentes, exteriores). (Fuente: Seitersrl. (2012). Obtenido de http://es.seitersrl.com/soluciones-servicios:sistemas-hvac-heating-ventilation-air-conditioning)

Sistema VRF

Un sistema de refrigerante variable (VRF) es una solución de aire acondicionado que tiene 3 características importantes que lo hacen diferente a un sistema convencional:

- Tienen la capacidad de controlar la cantidad de refrigerante que fluye a través del sistema.
- Cada unidad interior recibe únicamente la cantidad de refrigerante necesario para acondicionar el espacio al cual está sirviendo.
- A través de la tecnología inverter el motor del compresor varía su velocidad, incrementando o disminuyendo la capacidad requerida del sistema. *Fuente: (Climaproyectos. (s.f.). Obtenido de* http://sistemasvrf.com/)

Temperatura de bulbo húmedo (BH)

Es la temperatura que indica un termómetro cuyo bulbo está envuelto en una mecha empapada en agua, en el seno de aire en rápido movimiento. *(Libro: Pita, E. G. (s.f.). (1994). ACONDICIONAMIENTO DE AIRE (SEGUNDA ed.). Pág.: 178).*

Unidades terminales

Son los elementos que reciben el aire o el agua y lo distribuyen al ambiente. En ocasiones, las unidades terminales son simples rejillas o difusores; en otras, se trata de complejos aparatos provistos de elementos de regulación. *(Libro: Miranda, A. L. (1996). AIRE ACONDICIONADO. Barcelona, España: Ceac, S.A. Pág.: 209).*

Vaporización

Es un cambio de estado líquido a vapor (Gaseoso). *(Libro: AIR-CONDITIONING AND REFRIGERATION INSTITUTE. (1994). MANUAL DE AIRE ACONDICIONADO Y REFRIGERACIÓN. TORONTO: PRENTICE-HALL HISPANOAMERICANA, S.A. Pág. 14).*

Variadores de frecuencia

El variador de frecuencia es un dispositivo industrial que trabaja como regulador de velocidad para motores eléctricos. La energía de la red pasa por el variador y hace que la electricidad que llega al motor se ajuste a la demanda real de la aplicación, reduciendo el consumo energético del motor entre un 20% y un 70%, incluso llega al 90% en casos extremos. (Fuente: *ABB. (2017). Obtenido de* http://new.abb.com/drives/es)

Ventilación Artificial

Es cuando la ventilación se fuerza mediante ventiladores u otros elementos mecánicos. *(Libro: Miranda, A. L. (1996). AIRE ACONDICIONADO. Barcelona, España: Ceac, S.A. Pág.: 89).*

Ventilación Natural

Es cuando se produce una renovación del aire a través de rendijas, ventanas, puertas. *(Libro: Miranda, A. L. (1996). AIRE ACONDICIONADO. Barcelona, España: Ceac, S.A. Pág.: 89)*

Volumen especifico (v)

Es el volumen de aire por unidad de peso de aire seco. *(Libro: Pita, E. G. (s.f.). (1994). ACONDICIONAMIENTO DE AIRE (SEGUNDA ed.). Pág.: 178).*

1.3. Sistemas de Refrigeración y Climatización

1.3.1. Eficiencia energética en aires acondicionados

En los aires acondicionados, la eficiencia energética compara la cantidad de energía eléctrica que consume el equipo para absorber el calor generado por el recinto. A nivel internacional la eficiencia de los aires acondicionados es comúnmente medido por el Factor de Eficiencia de Energía Ambiental (SEER: Seasonal Energy Efficiency Ratio). A medida que este índice sea mayor, representa una mejor tecnología y por lo tanto mayor eficiencia del Aire Acondicionado.

$$SEER = \frac{Qtotal}{Potencia\ real}$$

Donde QTotal (Calor Total) es la suma de Calor Sensible (Qs) y Calor Latente (Ql); y Potencia real es el producto de multiplicar la corriente por la tensión que alimena el equipo.

1.3.2. Cálculo de la demanda de potencia eléctrica de los Sistemas de refrigeración y climatización.

La potencia eléctrica se define como el trabajo o la energía puesta en juego por unidad de tiempo. En el caso de los sistemas de refrigeración y climatización la potencia eléctrica generalmente es suministrada por la red eléctrica y se mide de forma instantánea a la entrada del equipo.

Los equipos y sistemas de aire acondicionado en el Edificio II de la Universidad APEC son bifásicos a 240 V, y por tanto la Potencia Eléctrica (Kw) se calculan

midiendo la Tensión instantánea (V), la Intensidad de corriente (A) y el Factor de Potencia FP (cosϕ); y teniendo estos datos se sustituye en la siguiente ecuación:

$$Pot = \frac{V * I * Cos\varphi}{1000}$$

Fuente: (Bolivar & Martinez, 2014) *P. 46.*

1.3.3. Principio del aire acondicionado.

El principio del aire acondicionado, que consiste en conseguir un ambiente agradable y sano, mediante un circuito frigorífico hermético basado en la absorción del calor a través de un gas refrigerante, se basa en 3 principios:

- El calor se transmite de la temperatura más alta a la más baja, como cuando enfriamos un café introduciendo una cuchara de metal a la taza y ésta absorbe el calor.
- El cambio de estado del líquido a gas (evaporación) absorbe calor. Por ejemplo, si humedecemos la mano en alcohol, sentimos frío en el momento en que éste se evapora, puesto que absorbe el calor de nuestra mano.
- La presión y la temperatura están directamente relacionadas. En un recipiente cerrado, como una olla, necesitamos proporcionar menor cantidad de calor para llegar a la misma temperatura que en uno abierto.

Fuente: (González, s.f.)

1.3.4. Descripción general de los Sistemas de Aires Acondicionados

La función principal de todos los sistemas de aire acondicionado es proporcionar el confort térmico para los ocupantes del área a climatizar. Hay una amplia gama de sistemas de aire acondicionado disponibles, desde las unidades básicas de acondicionadores de ventana a los pequeños sistemas de equipos divididos o Split como se le conoce, a las unidades Tipo Paquete de Mediana Escala, a los grandes

sistemas de agua helada o Chiller, y actualmente a los sistemas de flujo variable de refrigerante (VRF).

El término VRF se refiere a la capacidad del sistema para controlar la cantidad de refrigerante que fluye a cada uno de los evaporadores, permitiendo el uso de muchos evaporadores de diferentes capacidades y configuraciones, control de confort individualizado, calentamiento y enfriamiento simultáneos en diferentes zonas y recuperación de calor de una zona a otra. Los sistemas VRF operan en el principio de expansión directa (DX), lo que significa que el calor se transfiere hacia o desde el espacio directamente por la circulación de refrigerante a los evaporadores ubicados cerca o dentro del espacio acondicionado. El control de flujo de refrigerante es la clave de muchas ventajas, así como el mayor reto técnico de los sistemas VRF.

Obsérvese que el término sistemas VRF no debe confundirse con los sistemas centralizados VAV (volumen de aire variable), que funcionan variando el flujo de aire al espacio acondicionado sobre la base de la variación en las cargas de habitación.

1.3.5. Sistemas Acondicionadores de Aire Split

Los sistemas de aire acondicionado Tipo Split son sistemas uno-a-uno que consisten en una unidad evaporadora conectada a una unidad condensadora. Tanto las unidades interiores como exteriores están conectadas a través de tuberías de cobre, cableado eléctrico y de control.

La unidad interior (evaporador) saca el calor del aire que circula mientras que la unidad de condensación o Unidad Exterior transfiere el calor al medioambiente.

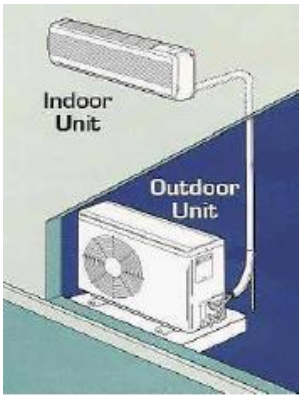


Ilustración 1. Sistemas Acondicionadores de Aire Split, Fuente: (Bathia, 2014).

Ventajas del uso de Sistemas Acondicionadores de Aire Split

- Bajo costo inicial, menos ruido y facilidad de instalación.
- Buena alternativa a los sistemas de conductos.
- Cada Sistema Split es totalmente independiente y tiene su propio control.

Desventajas

- Existe una limitación en la distancia entre la unidad interior y exterior, es decir, la tubería de refrigerante no puede exceder los límites estipulados por el fabricante (generalmente de 100 a 150 pies) de lo contrario no tendrá igual rendimiento.
- Mantenimiento (limpieza y cambio de filtros) dentro del espacio ocupado.
- Flujo de aire limitado lo que puede conducir a posibles puntos calientes o fríos.
- Impacto en la construcción estética de grandes edificios debido a que demasiadas unidades al aire libre resultan poco estéticas a la apariencia del edificio.

1.3.6. Sistemas Acondicionadores de Aire Multi-Split

Un sistema de Acondicionamiento de Aire Multi-Split funciona con los mismos principios que un sistema de aire acondicionado Tipo Split, sin embargo, en este

caso hay múltiples unidades evaporadoras conectadas a una unidad de condensación externa. Estos sistemas fueron diseñados principalmente para aplicaciones comerciales medianas y pequeñas donde la instalación de conductos era demasiado cara o estéticamente inaceptable. La tubería de cobre que transporta refrigerante que conecta las unidades interior y exterior, requiere mucho menos espacio ya que es de un bajo calibre y es más fácil de instalar que las planchas metálicas o de aluminio para los conductos. Cada unidad interior tiene su propio juego de tuberías de refrigerante que se conecta a la unidad exterior.

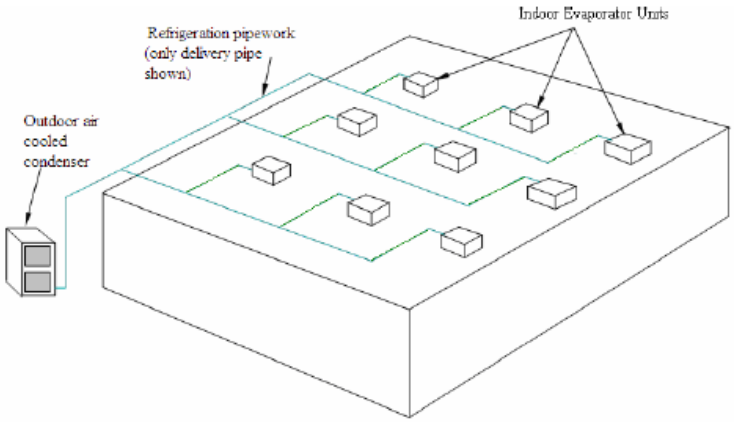


Ilustración 2. Sistema multi-Split típico, Fuente: (Bathia, 2014).

Ventajas de Sistemas Multi-Split

- El hecho de que un condensador grande pueda ser conectado a múltiples evaporadores dentro del edificio reduce y/o elimina completamente la necesidad de instalación de conductos.
- Los sistemas Multi-Split son adecuados para aplicaciones de una Zona Térmica Única la cual será explicada más adelante con ganancias y/o pérdidas de calor muy similares.

Desventajas de Sistemas Multi-Split

- Incapacidad para proveer control individual.

- Los sistemas Multi-Split se apagan o se encienden completamente en respuesta a un solo termostato o estación de control que opera todo el sistema. Por lo tanto, estos sistemas no son adecuados para zonas con características de ganancia o pérdida de calor variables.

Zona Térmica: Se refiere a un espacio o grupo de espacios dentro de un edificio con requisitos de calefacción y refrigeración similares. Cada zona térmica debe ser controlada por separado si las condiciones que brindan confort son proporcionadas por un sistema HVAC.

Cualquier área que requiera diferentes necesidades de temperatura, humedad y filtración se clasificará como una zona independiente y será controlada por un sistema de control o HVAC dedicado. En forma de ejemplo se pueden analizar los siguientes escenarios:

- Una sala de conferencias diseñada para ser ocupada por 50 personas experimentará temperaturas más bajas cuando está siendo ocupada por la mitad o una cuarta parte de la cantidad de personas para la que fue diseñada. Por lo tanto, el diseño debe incluir una disposición para un control de temperatura dedicado para esta zona.
- Un salón de fumadores de un aeropuerto tiene diferentes filtraciones, ventilación (cambios de aire) y requerimiento de presión en comparación con otras áreas; por lo tanto, se considera una zona separada.
- El Lobby del hotel es diferente a las habitaciones o del área del restaurante debido a las variaciones de ocupación.
- En un edificio comercial, el cuarto que contiene equipos de procesamiento de datos tal como servidores, fotocopiadoras, fax e impresoras está expuesto a una carga de calor mucho mayor que las otras áreas; y, por lo tanto, es una zona térmica diferente.
- Un laboratorio de pruebas hospitalarias, salas de aislamiento y salas de operaciones requieren diferentes condiciones y relaciones de presión que el resto de las otras áreas; y, por lo tanto, serán tratados como zonas separadas.

- Una sala de control o una instalación de procesamiento en una instalación industrial puede requerir un alto grado de limpieza y presión positiva para evitar la entrada de polvo y/o elementos peligrosos, y, por lo tanto, puede tratarse como una zona separada.

1.3.7. Sistemas de Flujo Variable de Refrigerante (VRF)

El flujo Variable de Refrigerante (VRF) es una configuración de los sistemas de acondicionamiento de aire donde hay una unidad condensadora en el exterior y varias unidades interiores. El término de flujo variable de refrigerante se refiere a la capacidad del sistema para controlar la cantidad de refrigerante que fluye a las múltiples evaporadoras (unidades interiores), permitiendo el uso de muchos evaporadores de diferentes capacidades y configuraciones conectadas a una única unidad condensadora. Este tipo de arreglo proporciona un control individualizado de confort al igual que calefacción y enfriamiento simultáneos en diversas zonas.

Actualmente es muy aplicado en grandes edificios, especialmente en Japón y Europa, estos sistemas están empezando a ser introducido en los EE. UU. La tecnología o sistema VRF fue desarrollado y diseñado por Daikin Industries, Japón, quien nombró y protegió el término como Refrigerante de Volumen Variable "*Variable Refrigerant Volume*" (VRV) por lo que otros fabricantes utilizan el término Refrigerante de flujo Variable "*Variable Refrigerant Flow"* (VRF). En esencia ambos son iguales.

Con una mayor eficiencia y mayor controlabilidad, el sistema VRF puede ayudar a lograr un diseño sostenible. Desafortunadamente, el diseño de sistemas VRF es más complicado y requiere trabajo adicional en comparación con el diseño de un sistema convencional de expansión directa (DX).

Los sistemas VRF son similares a los sistemas Multi-Split que conectan una Unidad Condensadora Exterior a varios Unidades de Interior o evaporadoras. Sin embargo, los sistemas Multi-Split se encienden o se apagan completamente en respuesta a un controlador maestro, mientras que los sistemas VRF ajustan continuamente el

flujo de refrigerante a cada evaporador interior. El control se logra variando continuamente el flujo de refrigerante a través de una válvula **moduladora de pulsos (PMV**) cuya apertura está determinada por el microprocesador que recibe información de los **termistores** en cada unidad interior. Las unidades interiores están conectadas por un cable de control a la unidad exterior que responde a la demanda de las unidades interiores variando la velocidad del compresor para que coincida con los requisitos de refrigeración y/o calefacción total.

Los sistemas VRF prometen una estrategia más eficiente desde el punto de vista energético (las estimaciones oscilan entre el 11% y el 17% menos en comparación con las unidades convencionales) a un costo algo más alto.

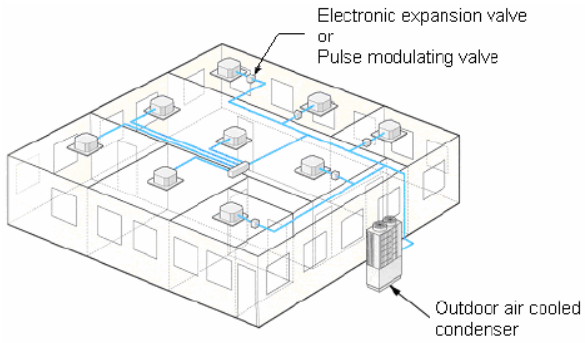


Ilustración 3. Sistema VRF con múltiples unidades evaporadoras de interior, Fuente: (Bathia, 2014).

La moderna tecnología VRF utiliza un compresor de espiral accionado por inversor y permite hasta 48 o más unidades interiores para operar desde una unidad exterior (varía de un fabricante a otro). Los Compresores en Espiral con Manejador Inverter "*Inverter-driven scroll compressor"* son capaces de cambiar la velocidad para seguir las variaciones en la carga total de enfriamiento y/o calentamiento determinada por la presión de gas de succión medida en la unidad de condensación. El rango de control de capacidad puede ser tan bajo como 6% a 100%.

Las tuberías de refrigerante de más de 200 pies son posibles, y las unidades exteriores están disponibles en tamaños de hasta más de 240.000 Btuh.

A continuación, se observa un diagrama esquemático de VRF:

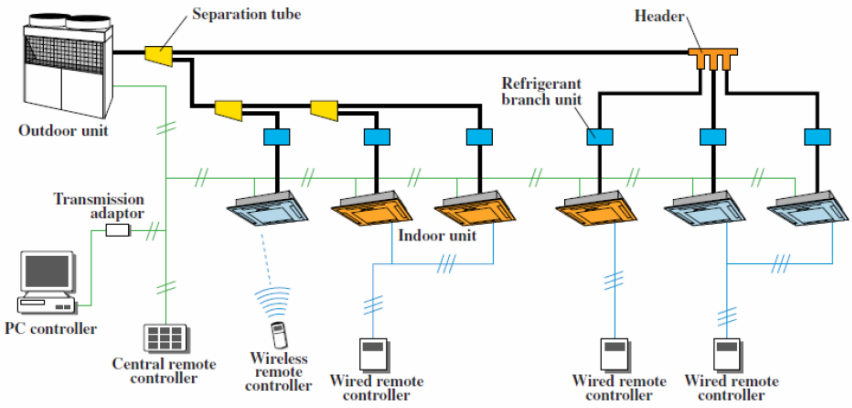


Ilustración 4. Distribución y control de un Sistema de climatización VRF, Fuente: (Bathia, 2014).

Fuente: (Orion Air Conditioning & Refrigeration Ltd, 2016)

Los sistemas VRF son sistemas de ingeniería y utilizan complejos circuitos de control de refrigerante y aceite. La tubería de refrigerante utiliza una serie de tubos de separación y/o cabezales que pueden ser observados en la figura anterior.

Un tubo de separación tiene 2 ramas (Branch) mientras que un cabezal (Header) tiene más de 2 ramas. Se puede utilizar cualquiera de los tubos de separación (Branch) o cabezal (Header), o ambos, para las ramas. Sin embargo, el tubo de separación NUNCA se proporciona después de la cabecera debido a problemas de equilibrado.

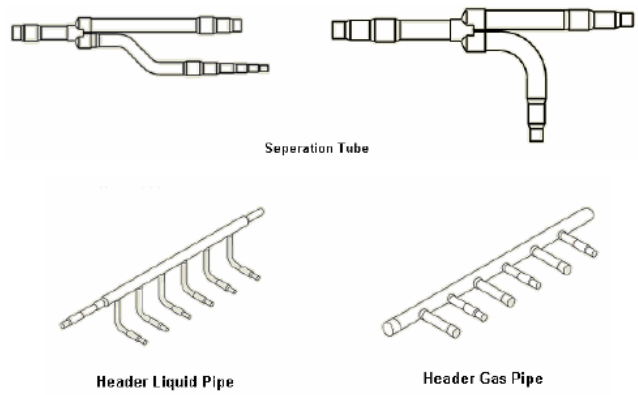


Ilustración 5. Tuberías para sistema de climatización, Fuente: (Bathia, 2014).

En comparación con los sistemas Multi-Split, los sistemas VRF minimizan el recorrido del refrigerante y utilizan menos tubos de cobre. Minimizar el recorrido del refrigerante permite maximizar la eficiencia del trabajo del refrigerante.

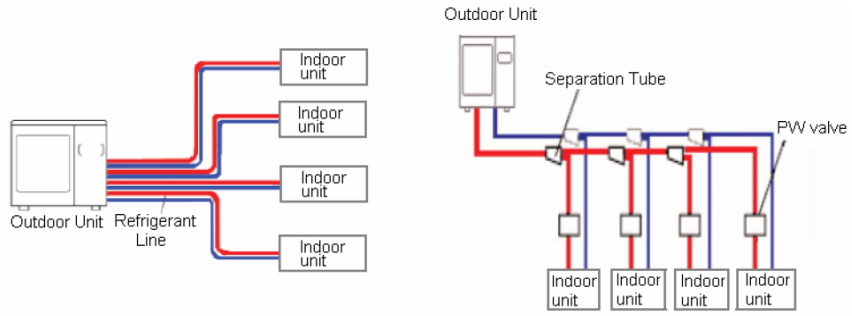


Ilustración 6. Diferencia entre la distribución por tuberías en un Sistema Multi Split (izquierda) vs un Sistema VRF (derecha), Fuente: (Bathia, 2014).

1.3.8. Tipos de VRF

Los sistemas VRV / VRF se pueden utilizar únicamente para refrigeración, bombeo de calor o recuperación de calor. En los modelos de bomba de calor hay dos tipos básicos de sistema VRF: sistemas de bomba de calor y recuperación de energía.

1.3.8.1. Sistemas de bomba de calor VRF

Los sistemas de bomba de calor VRF permiten la calefacción o la refrigeración en todas las unidades interiores, pero no la calefacción y la refrigeración simultáneas. Cuando las unidades interiores están en el modo de refrigeración, actúan como evaporadores; cuando están en el modo de calentamiento, actúan como condensadores. Estos también se conocen como sistemas de dos tubos.

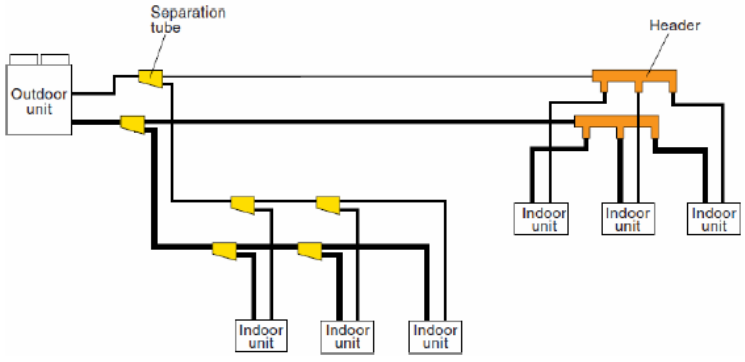


Ilustración 7. Sistema de bomba de calor VRF, Fuente: (Bathia, 2014).

1.3.9. Tipo de refrigeración Sistema VRF

Los sistemas de bombas de calor VRF se aplican eficazmente en áreas abiertas, tiendas minoristas y cualquier otra área que requiera enfriamiento o calefacción durante los mismos períodos operativos.

1.3.10. Sistema de recuperación de calor VRF (VRF-HR)

Los sistemas de flujo de refrigerante variable con capacidad de recuperación de calor (VRF-HR) pueden funcionar simultáneamente en modo de calefacción y/o refrigeración, permitiendo que el calor se use en lugar de ser rechazado como sería en sistemas de bombas de calor tradicionales. Los sistemas VRF-HR están equipados con características mejoradas como accionamientos inversores, válvulas de expansión electrónicas moduladoras de pulso y controles distribuidos que permiten que el sistema funcione en modo de calefacción neta o refrigeración neta, tal y como exige el espacio.

Cada fabricante tiene su diseño propio (sistema de 2 o 3 tubos), pero la mayoría utiliza un sistema de tres tuberías (línea de líquido, una línea de gas caliente y una línea de succión) y arreglos de válvulas especiales. Cada unidad interior se ramifica fuera de los 3 tubos usando válvulas de solenoide. Una unidad interior que requiera refrigeración abrirá su línea de líquido y válvulas de la línea de succión y actuará como un evaporador. Una unidad interior que requiere calefacción abrirá sus válvulas de línea de gas y líquido calientes y actuará como un condensador.

Típicamente, intercambiadores de calor adicionales en cajas de distribución se utilizan para transferir algo de calor de rechazo del refrigerante sobrecalentado que sale de la zona que se está enfriando al refrigerante que va a la zona a calentar. Este equilibrio tiene el potencial de producir ahorros de energía significativos.

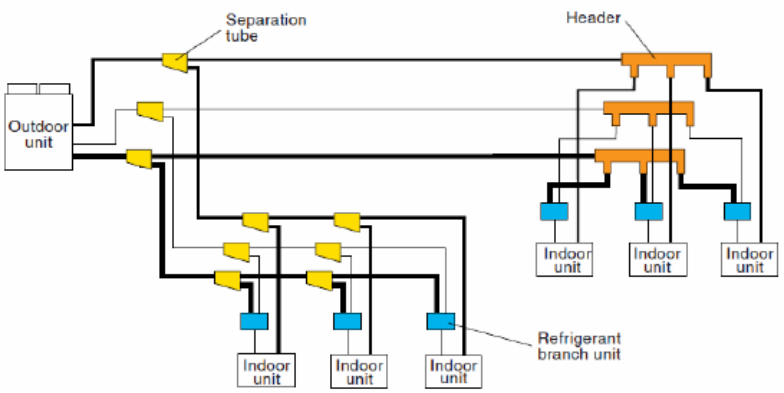


Ilustración 8. Sistema de Recuperación de Calor Tipo VRF, Fuente: (Bathia, 2014).

La operación en modo mixto VRF-HR conduce a un ahorro de energía ya que ambos extremos del ciclo termodinámico producen un intercambio de calor útil. Si un sistema tiene un COP de refrigeración (Coeficiente de Rendimiento) de 3 y un COP de calentamiento de 4, entonces la operación de recuperación de calor podría producir un COP de hasta 7. Debe señalarse que este equilibrio perfecto de demanda de calefacción y refrigeración es improbable para que ocurra durante muchas horas cada año, pero cuando se usa el modo mixto se ahorra energía. Las unidades están ahora disponibles para entregar el calor retirado del espacio de refrigeración en agua caliente para calefacción, agua caliente doméstica o aplicaciones de ocio, por lo que el modo mixto se utiliza más durante el año.

Los sistemas VRF-HR funcionan mejor cuando hay necesidad de que algunos de los espacios sean enfriados y algunos de ellos sean calentados durante el mismo período. Esto ocurre a menudo en el invierno en edificios medianos a grandes con un núcleo substancial o en las áreas en los lados del norte y del sur de un edificio.

El **Coeficiente de Rendimiento (COP)** es el índice de rendimiento utilizado principalmente en bombas de calor. Se define como la relación de la salida de calor a la cantidad de entrada de energía de una bomba de calor. Compara el calor producido por la bomba de calor con el calor obtenido del calor de resistencia. COPs varían con la temperatura exterior; a medida que disminuye la temperatura, el COP disminuye también puesto que la bomba de calor es menos eficiente a temperaturas

más bajas. Las normas ARI comparan el equipo a dos temperaturas, 47°F y 17°F, para darle una idea del COP en temperaturas bajas y más frías.

1.3.11. Modulación de refrigerante en un sistema VRF

La tecnología VRV / VRF se basa en el simple ciclo de compresión de vapor (igual que los sistemas convencionales de aire acondicionado Split), pero le da la capacidad de controlar y ajustar continuamente el flujo de refrigerante a diferentes unidades internas, dependiendo de las necesidades de calefacción y refrigeración de cada área del edificio. El flujo de refrigerante a cada evaporador se ajusta de forma precisa a través de una válvula de expansión electrónica de onda de pulso junto con un variador de frecuencia y compresores múltiples de capacidad variable, en respuesta a cambios en la necesidad de refrigeración o calefacción dentro del espacio con aire acondicionado.

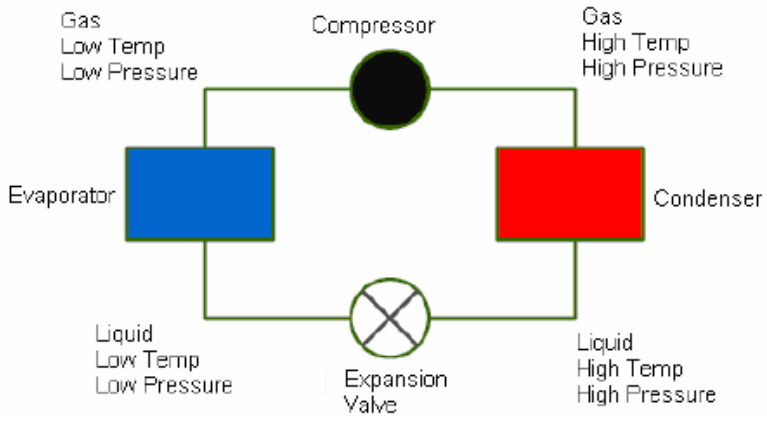


Ilustración 9. Modulación refrigerante en un sistema VRF, Fuente: (Bathia, 2014).

El fundamento de un sistema de aire acondicionado es el uso de un refrigerante para absorber calor del ambiente interior y transferirlo al ambiente externo. En el modo de refrigeración, a las unidades interiores se le suministra refrigerante líquido. La cantidad de refrigerante que fluye a través de la unidad se controla a través de una válvula de expansión situada dentro de las unidades internas. Cuando el refrigerante entra en al serpentín, sufre un cambio de fase (evaporación) que extrae

calor del espacio, enfriando así la habitación. El calor extraído del espacio se transfiere al aire ambiente.

Los sistemas de refrigeración pueden operar en modo de **ciclo inverso** con la inclusión de una válvula de inversión especial de 4 vías, permitiendo la absorción de calor del ambiente externo y utilizando este calor para elevar la temperatura interna. Cuando se opera en modo de calefacción, las unidades interiores se suministran con un refrigerante de gas caliente. De nuevo, la cantidad de gas caliente que fluye a través de la unidad se controla a través de la misma válvula de expansión electrónica. Al igual que con el refrigerante líquido, el gas caliente sufre un cambio de fase (condensación), que libera energía térmica en el espacio. Estos se llaman Heat Pump system o en español *Sistema de Bomba de Calor*. Las bombas de calor proporcionan calefacción y refrigeración desde la misma unidad y debido al calor añadido de compresión, la eficiencia de una bomba de calor en el modo de calefacción es mayor en comparación con el ciclo de enfriamiento.

La válvula de expansión es el componente que controla la velocidad a la cual el refrigerante líquido puede fluir dentro del serpentín del evaporador. El ciclo de refrigeración convencional utiliza la "válvula de expansión termostática (TXV)" que utiliza el resorte mecánico para el control. Ésta tiene sus inconvenientes:

- La operación de la Válvula TXV es totalmente independiente del funcionamiento del compresor.
- La válvula TXV es poco precisa debido a que tiende a la sobrealimentación o deficiencia del flujo de refrigerante al evaporador.

  A medida que aumenta la carga del evaporador, el refrigerante disponible se evaporará más rápidamente. Si se evapora completamente antes de salir del evaporador, el vapor continuará absorbiendo calor (sobrecalentamiento). Aunque el sobrecalentamiento asegura la evaporación total del refrigerante líquido antes de entrar en el compresor, la densidad del vapor que sale del evaporador y entra en el compresor se reduce reduciendo la capacidad de refrigeración. Si el calor es inadecuado o muy alto en un sistema es una preocupación.

- Poco: el refrigerante líquido que entra en un compresor lava el aceite causando un fallo prematuro.

"Los daños que puede sufrir un compresor por el regreso de refrigerante o aceite líquidos son varios, y dependen de la cantidad de líquido que le esté llegando. Quizás el más grave es el «Golpe de Líquido». Como ya se mencionó, los líquidos no se comprimen; los compresores para refrigeración están diseñados para comprimir vapor. Si es excesiva la cantidad de líquido que entra al cilindro a través de la línea de succión, el pistón en su carrera ascendente golpeará este líquido contra la válvula o plato de descarga, produciendo un efecto como el de un gato hidráulico. Este tremendo golpe puede dañar las válvulas de descarga, los pistones, las bielas y hasta el cigüeñal; causando desde dobleces hasta la ruptura.

Por otra parte, el exceso de refrigerante líquido que retorna al compresor diluye el aceite, disminuyendo sus propiedades lubricantes, y causando daños por mala lubricación en cojinetes y otras partes móviles. En algunos casos, se pierde completamente el aceite del cárter. (Climas Monterrey, s.f.)

- Demasiado: el valioso espacio del evaporador se desperdicia y posiblemente causa problemas de sobrecalentamiento del compresor.
- Las deficiencias de TXV son compensadas por la moderna válvula de expansión electrónica.

1.3.12. Válvula de Expansión Electrónica (EEV)

Con una válvula de expansión electrónica (EEV), se le indica al sistema qué sobrecalentamiento se desea y lo configurará. La característica primaria de EEV es su capacidad de girar un pequeño ángulo **(paso)** prescrito en respuesta a cada impulso de control aplicado a sus devanados. EEV consiste en un motor electrónico síncrono que puede dividir una rotación completa en un gran número de **pasos**, **500 pasos/rev.** Con una gama tan amplia, una válvula EEV puede pasar de completamente abierta a totalmente cerrada y se cierra cuando el sistema está satisfecho.

EEV en un sistema VRF funciona para mantener la diferencia de presión y también distribuir la cantidad precisa de refrigerante a cada unidad interior. Permite el control fino del refrigerante a los evaporadores y puede reducir o detener el flujo de refrigerante a la unidad de evaporador individual mientras se supera el calentamiento deseado.

1.3.13. Consideraciones de diseño para Sistemas VRF

Decidir qué sistema HVAC mejor se adapta a su aplicación dependerá de varias variables, tales como características de construcción; requisitos de carga de enfriamiento y calentamiento; ocurrencias de picos; requisitos simultáneos de calefacción y refrigeración; necesidades de aire fresco; requisitos de accesibilidad; temperaturas mínimas y máximas de temperaturas exteriores; sostenibilidad; y características acústicas.

1.3.14. Características del edificio

Los sistemas VRF suelen ser sistemas distribuidos - la unidad exterior se mantiene en un lugar lejano como la parte superior del edificio o remotamente a nivel de grado y todas las unidades del evaporador se instalan en varios lugares dentro del edificio. Típicamente, la tubería de refrigerante (líneas de líquido y de succión) es muy larga, con varios cientos de metros de longitud para edificios grandes de varios pisos. Obviamente, las longitudes de tubería largas introducirán pérdidas de presión en la línea de succión y, a menos que se seleccione el diámetro correcto de tubería, las unidades interiores serán privadas de refrigerante resultando un enfriamiento insuficiente para el usuario final. Por lo tanto, es muy importante asegurarse de que el tamaño de la tubería se seleccione correctamente, tanto para la tubería de alimentación principal como para las tuberías de alimentación que alimentan cada unidad interior.

La longitud máxima permitida varía de un fabricante a otro; sin embargo, las directrices generales son las siguientes:

• La distancia vertical máxima permitida entre una unidad exterior y su unidad interior más alejada es de 164 pies.

• La distancia vertical máxima permitida entre dos unidades interiores individuales es de 49 pies.

• Las longitudes máximas de tubería de refrigerante entre el exterior y la unidad interior más alejada son de hasta 541 pies.

Nota: Cuanto más largas sean las tuberías de refrigerante, más elevados serán los costos iniciales y de operación.

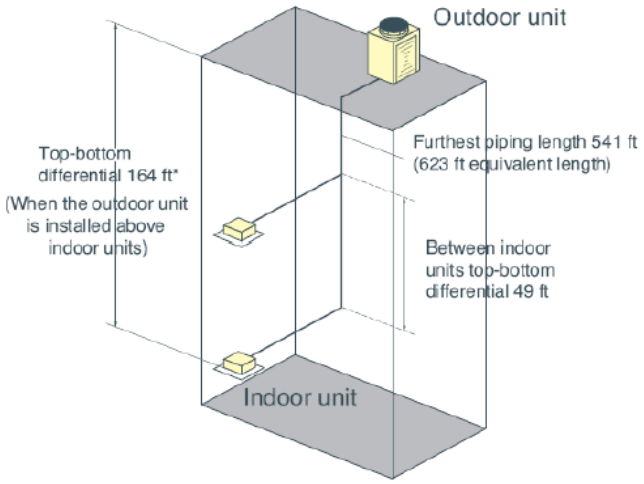


Ilustración 10. Distribución de unidades exteriores e interiores, Fuente: (Bathia, 2014).

Como se ha indicado, el criterio de la tubería de refrigerante varía de un fabricante a otro; por ejemplo, para uno de los fabricantes japoneses (Fujitsu), los límites de diseño del sistema son:

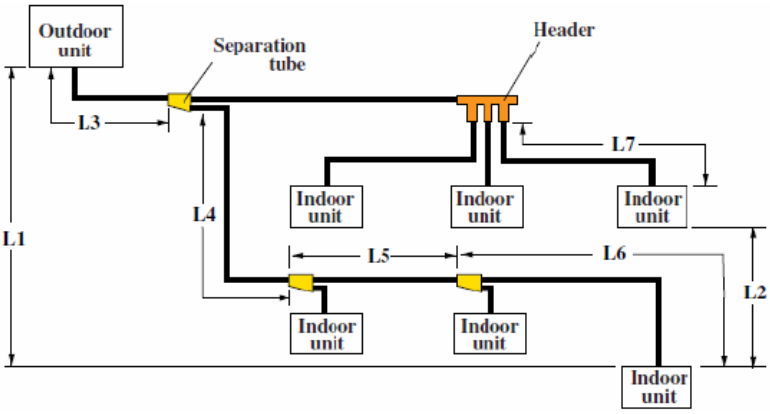


Ilustración 11. Límite de diseño de unidades de sistema, Fuente: (Bathia, 2014).

- **L1**: diferencia de altura máxima entre la unidad exterior y la unidad interior = 50 m
- **L2**: Diferencia máxima de altura entre unidad interior y unidad interior = 15 m
- **L3**: Longitud máxima de la tubería desde la unidad exterior hasta el primer tubo de separación = 70 m
- **[L3 + L4 + L5 + L6]:** Longitud máxima de la tubería desde la unidad exterior hasta la última unidad interior = 100 m
- **L6 y L7:** longitud máxima de la tubería desde el cabezal a la unidad interior = 40 m
- **Longitud total de la tubería** = 200m (Longitud de la tubería líquida)

1.3.15. Perfil de Carga del Edifico

Al seleccionar un sistema VRF para una aplicación nueva se deben realizar las siguientes tareas de evaluación:

- Determinar los requisitos funcionales y operacionales evaluando la carga de enfriamiento y los perfiles de carga incluyendo la ubicación, las horas de operación, el número/tipo de ocupantes, los equipos utilizados, etc.
- Determinar la configuración requerida del sistema en cuanto al número de unidades interiores y la capacidad de la unidad de condensación al aire libre

teniendo en cuenta la capacidad total y los requisitos operativos, la fiabilidad y las consideraciones de mantenimiento.

El perfil de carga del edificio ayuda a determinar la capacidad del compresor de la unidad de condensación de exterior. Por ejemplo, si hay muchas horas a baja carga, es ventajoso instalar varios compresores con al menos uno con función de variador (ajuste de velocidad). La siguiente figura muestra un perfil de carga típico para un edificio de oficinas.

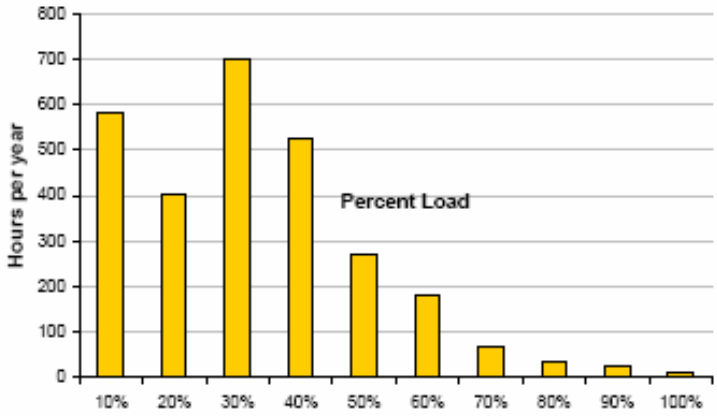


Ilustración 12. Perfil de carga típico en una oficina, Fuente: (Bathia, 2014).

La capacidad de refrigeración combinada de las secciones interiores puede coincidir, exceder o ser inferior a la capacidad de la sección exterior conectada a ellas. Pero como una práctica normal:

- Las unidades interiores son típicamente dimensionadas y seleccionadas en base a la mayor de las cargas de calefacción o refrigeración en la zona a la que sirve, es decir, la carga de pico máxima esperada en cualquier momento del año.
- La unidad de condensación exterior se selecciona según el perfil de carga de la instalación, que es la carga máxima de todas las zonas combinadas en un momento determinado. Lo importante aquí es que es poco probable que todas las zonas alcancen un pico en un momento dado, por lo que se considera un elemento de diversidad para el dimensionamiento económico. La adición de la carga máxima para cada unidad interior y el uso de ese número total para dimensionar la unidad exterior dará lugar a una unidad de

condensación innecesariamente sobredimensionada. Aunque una unidad de condensación sobredimensionada con compresores múltiples es capaz de funcionar a una capacidad inferior, un sobredimensionamiento a veces reduce o cesa la función de modulación de la válvula de expansión. Como regla general, un ingeniero puede especificar una unidad exterior con una capacidad entre el 70% y el 130% de las capacidades combinadas de las unidades interiores.

1.3.16. Calefacción y enfriamiento simultáneos

Algunos fabricantes ofrecen un sistema VRF con función de recuperación de calor que es capaz de proporcionar simultáneamente calefacción y refrigeración. El costo de una VRF-HR es mayor que el de una unidad de bomba de calor VRF normal y por lo tanto su aplicación debe ser cuidadosamente evaluada.

A veces se puede conseguir un diseño más económico combinando zonas con requisitos de calefacción o refrigeración similares. Por ejemplo, las áreas que pueden requerir calentamiento y enfriamiento simultáneos son las zonas perimétricas e interiores. Las zonas perimetrales con mucho acristalamiento y exposición especialmente hacia el oeste y el sur tendrán altas variaciones de carga.

El uso de unidades de bomba de calor VRF para calefacción y refrigeración puede aumentar la eficiencia energética del edificio. El diseñador debe evaluar la salida de calor de las unidades a la temperatura de diseño al aire libre. El calentamiento suplementario con resistencias eléctricas sólo se considerará cuando la capacidad de calentamiento de las unidades VRF sea inferior a la capacidad de calefacción requerida por la aplicación. Aunque se considera el calentamiento suplementario, la secuencia de operación y puesta en marcha debe especificar y prevenir la activación prematura del calentamiento suplementario.

1.3.17. Primeros Costes

El costo instalado de un sistema VRF es altamente variable, dependiente del proyecto y también es difícil de determinar. Los estudios indican que el costo total instalado de un sistema VRF se estima entre un 5% y un 20% más alto que el sistema de agua refrigerada por aire o agua, la bomba de calor de la fuente de agua o el sistema DX del techo que proporciona capacidad equivalente. Esto se debe principalmente a la tubería de refrigerante largo y múltiples intercambios de evaporador de interior con los controles asociados. Los propietarios de edificios a menudo no tienen ningún incentivo para aceptar mayores costos de primera, incluso si el período de reembolso reclamado es corto, ya que las reclamaciones de ahorro de energía son muy impredecibles.

1.3.18. Ventajas de Sistema VRF

Comodidad

La principal ventaja de un sistema de flujo variable de refrigerante es su capacidad para responder individualmente a las fluctuaciones en las condiciones de carga de los diferentes espacios. El usuario puede fijar la temperatura ambiente de cada sitio según sus requisitos y el sistema ajustará automáticamente el flujo del refrigerante para satisfacer el requisito;

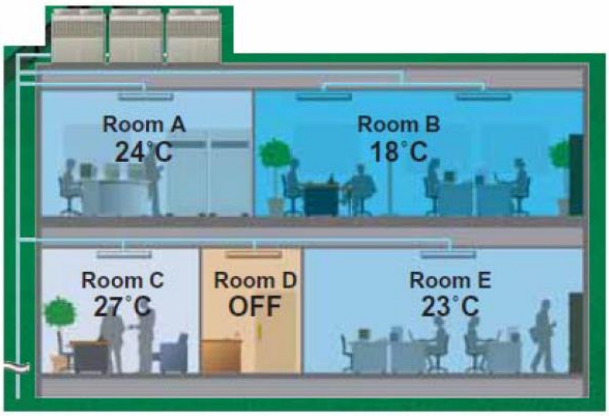


Ilustración 13. Representación de la diversidad de temperatura que permite el sistema VRF, Fuente: (Bathia, 2014).

Los sistemas VRF permiten una modulación de gran capacidad y llevan las habitaciones a la temperatura deseada muy rápidamente y mantienen las fluctuaciones de temperatura al mínimo. La tecnología ofrece un excelente rendimiento de deshumidificación para una humedad óptima en la habitación independientemente de las condiciones exteriores. Cualquier área del edificio siempre estará exactamente a la temperatura y humedad adecuadas, garantizando un confort total para sus ocupantes;

Los sistemas VRF son capaces de tener refrigeración y calefacción simultáneas. Cada unidad interior individual puede ser controlada por un termostato programable. La mayoría de los fabricantes de VRF ofrecen una opción de control centralizada, que permite al usuario monitorear y controlar todo el sistema desde una única ubicación o a través de Internet;

Los sistemas VRF utilizan compresores de velocidad variable con un rango de capacidad del 10 al 100% que proporciona una flexibilidad sin igual para ahorrar energía. El uso de la tecnología de variadores puede mantener el control preciso de la temperatura, generalmente dentro de ± 1 ° F.

Flexibilidad de Diseño

Se puede conectar una unidad de condensación única a una amplia gama de unidades interiores de capacidad variable como pueden ser de 9000 a 48,000 BTU/h de unidades ducteables o unidades sin ductos como lo pueden ser los de Pared, Piso-Techo o unidades Tipo *Casette*. Los productos actuales permiten que hasta 48 unidades interiores sean suministradas por una sola unidad de condensación.

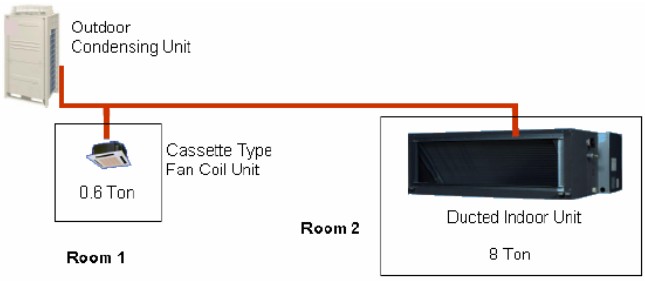


Ilustración 14. Diversidad de diseño que permite el sistema VRF, Fuente: (Bathia, 2014).

El concepto modular facilita la adaptación del sistema HVAC a la expansión o reconfiguración del espacio. Un sistema VRF puede comenzar a funcionar incluso mientras el edificio o casa todavía está siendo construido; a diferencia de los grandes Sistemas de Ductos o Sistemas de Agua Helada (Chiller) que no pueden funcionar hasta que se complete el proyecto de construcción.

Adecuado para colocar una unidad exterior en cada piso o en cuartos de aire acondicionado.

Instalación flexible

Los sistemas VRF permiten la instalación y puesta en marcha piso por piso.

Los sistemas VRF son ligeros; requieren menos espacio para las unidades exteriores y ofrecen características que ahorran espacio;

Es menos perturbador encajar en edificios existentes (especialmente cuando está ocupado) y su formato modular se presta a instalaciones escalonadas. Una gama de soluciones de controlador de sistema permite al usuario final seleccionar el controlador que mejor se adapte a ellos;

Es modular y autónomo. Se puede instalar un múltiplo de estas unidades para lograr capacidades de enfriamiento de cientos de toneladas;

Debido a que sólo se requiere ducto para el sistema de ventilación, éstos son más pequeños que el sistema ducteable estándar; reduciendo así la altura del techo del edificio y así reduciendo los costos del mismo.

En comparación con el sistema Split convencional, un sistema VRF reduce el coste de instalación en un 30%. Un sistema VRF proporciona una reducción en los costes de cableado de control y tuberías de cobre.

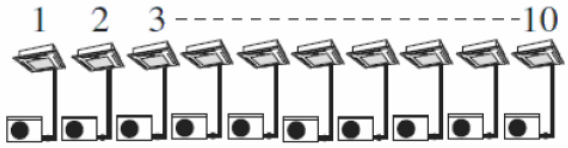


Ilustración 15. Sistema Split de unidades uno a uno, Fuente: (Bathia, 2014).

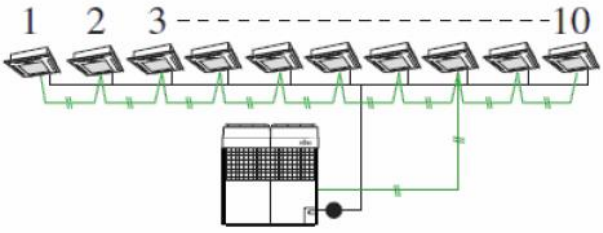


Ilustración 16. Sistema VRF en conjunto, Fuente: (Bathia, 2014).

Eficiencia energética

- Los sistemas VRF se benefician de las ventajas de la activación de compresores dependiendo la carga en combinación con los compresores de velocidad constante y velocidad variable, lo que permite un control más preciso de la cantidad necesaria de circulación de refrigerante requerida según la carga del sistema. La tecnología de los Variadores reacciona a las fluctuaciones de temperatura interiores y exteriores al variar el consumo de energía y ajustar la velocidad del compresor a su uso óptimo de energía. El variador de frecuencia proporciona un rendimiento superior de eficiencia energética y también permite un ambiente cómodo mediante el uso de control de capacidad suave. Las pruebas de campo han indicado que esta tecnología puede reducir el consumo de energía en un 30 a 40% al año en comparación con los tradicionales compresores rotativos.
- La tecnología VRF proporciona una excepcional eficiencia de carga parcial. Dado que la mayoría de los sistemas HVAC pasan la mayor parte de sus horas de funcionamiento entre el 30-70% de su capacidad máxima, donde el

coeficiente de rendimiento (COP) del VRF es muy alto, la eficiencia energética estacional de estos sistemas es excelente.

- Un sistema VRF minimiza o elimina completamente el conducto. Esto reduce las pérdidas en el conducto a menudo estimadas entre el 10% y el 20% del flujo total de aire en un sistema ducteable.
- La tecnología del compresor variable es altamente eficiente. La disposición modular permite el funcionamiento escalonado, es decir, las unidades interiores se pueden apagar fácilmente en lugares que no requieren enfriamiento, mientras que el sistema mantiene un funcionamiento altamente eficiente.
- Es posible incluir refrigeración y calefacción en un sistema único que evita la duplicación de sistemas (una bomba de calor reversible sólo cuesta un 10% más que una unidad de refrigeración).
- La sub-medición de energía con sistemas VRF es relativamente simple y barata colocando un medidor eléctrico en una o varias unidades de condensación. Esta es una característica muy importante en los edificios multi-inquilinos si los costos de energía se cargan explícitamente a cada inquilino en lugar de estar ocultos en los costos de arrendamiento global.

Reducción de los niveles de ruido

Las unidades interiores y exteriores son tan silenciosas que pueden colocarse en cualquier lugar, proporcionando más flexibilidad sobre cómo utilizar el espacio interior y exterior. Los niveles de sonido de funcionamiento sin Ductos Interiores son tan bajos como 27dB (A) y en unidades ducteables los niveles de sonido son tan bajos como 29dB (A).

Las unidades exteriores pueden colocarse directamente debajo de una ventana y las unidades interiores son perfectas en ambientes que requieren un mínimo de interrupción como escuelas, lugares de culto, bibliotecas y más. En comparación con el sistema Split único, un sistema VRF reduce los niveles de ruido exterior en casi 5 dB @ 1m.

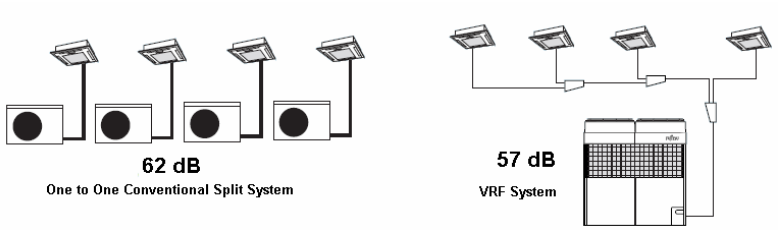


Ilustración 17. Sistema Split uno a uno (izquierda) vs Sistema VRF (derecha), Fuente: (Bathia, 2014).

Confiabilidad

El funcionamiento continuo es posible incluso si se produce un problema en una unidad interior.

Unidad interior

Cada unidad interior se controla individualmente al sistema. Esto permite que todas las unidades interiores sigan funcionando sin ser afectadas, incluso si se producen problemas en cualquier unidad interior en un sistema.

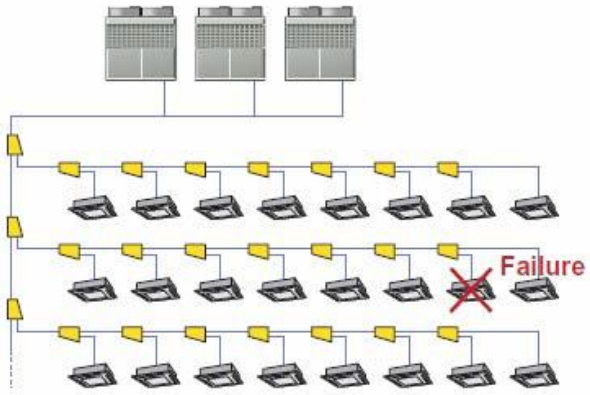


Ilustración 18. Falla en una unidad interior, Fuente: (Bathia, 2014).

Unidad exterior

El funcionamiento continuo es posible incluso en caso de fallo del compresor. No hay cierre inmediato del sistema si se produce algún problema en cualquier compresor. Los otros compresores pueden continuar funcionando en caso de emergencia.

Mantenimiento y puesta en servicio

- Los sistemas VRF con sus configuraciones estandarizadas y sofisticados controles electrónicos apuntan hacia una puesta en marcha casi plug-and-play o como sería en español enchufar y encender. El mantenimiento normal para un sistema VRF es similar al de cualquier sistema DX y consiste principalmente en cambiar filtros y limpieza de serpentines.
- Debido a que no hay que dar mantenimiento a bombas de agua ni conductos que limpiar, se requiere menos mantenimiento en comparación con otras tecnologías.

Estética

Las unidades interiores están disponibles en diferentes capacidades y múltiples configuraciones, tales como unidades de pared, unidades de techo o unidades de Casette, y los tipos de conductos ocultos. Es posible proporcionar una disposición variada que combina múltiples tipos de unidades interiores con una única sección exterior. Éstos proporcionan la versatilidad extrema a los requisitos estéticos de diversos tipos de edificio. Las unidades exteriores se pueden ubicar en el techo o en un espacio oculto.

Ilustración 19. Tipos de evaporadoras, Fuente: (Bathia, 2014)

Aplicaciones

Los sistemas VRF pueden ser una opción particularmente buena para edificios con múltiples zonas o cargas de calefacción y/o refrigeración de gran variación en muchas zonas internas diferentes. Estos sistemas proporcionan control individual y

son los más versátiles de los sistemas Multi-Split. Hoteles, escuelas y edificios de oficinas son buenos ejemplos.

Disponibilidad

1) Las unidades exteriores VRF pueden tener capacidad de refrigeración y calefacción de 12.000 Btu / h a 300.000 Btu / h;
2) Las unidades interiores VRF pueden tener capacidades de enfriamiento y calefacción de 5.000 Btu / h a 120.000 Btu / h;
3) La unidad exterior puede soportar hasta 48 unidades de evaporador con capacidades que agregan colectivamente hasta un 130% de capacidad de la unidad de condensación.

El equipo VRF se divide en tres categorías generales: residencial, comercial ligero e industrial:

- El equipo residencial es monofásico con una capacidad de refrigeración de 65.000 Btu / h o menos.
- El equipo comercial ligero es generalmente trifásico con una capacidad de refrigeración superior a 65.000 Btu / h, y está diseñado para pequeñas empresas y propiedades comerciales.
- El equipo Industrial tiene una capacidad de enfriamiento superior a 135.000 Btu / h, y está diseñado para grandes edificios comerciales.

1.3.19. Limitaciones del Sistema VRF

Los sistemas VRF no son adecuados para todas las aplicaciones. Los desafíos clave incluyen:

Tubería de refrigerante

Un sistema VRF está restringido por criterios de distancia entre la unidad de condensación y el evaporador. Las longitudes máximas de la tubería de refrigerante para un VRF o cualquier otro sistema dividido se determinan por la capacidad de los compresores para superar la caída de presión y para que el sistema mantenga

un retorno adecuado. Por lo tanto, todos los sistemas 'Split' tienen una longitud de tubería de refrigeración vertical y total máxima permitida. Esta es una desventaja considerable en comparación con los sistemas hidráulicos que son bombeados; y como la bomba se puede dimensionar para adaptarse al sistema, entonces teóricamente, la tubería hidráulica puede correr distancias casi infinitas.

Cada fabricante especifica tanto el tamaño de la tubería requerida para su sistema como las máximas corrida de tuberías de refrigerante permitidas. Aunque la literatura de pocos fabricantes dice que las líneas de refrigerante pueden ser de hasta 500 pies, cuando se lee la letra pequeña, después de la primera "Tee" de la unidad de condensación, se limita a 135 pies a la unidad más alejada.

Cumplimiento con la norma ANSI / ASHRAE 15-2001

Los sistemas VRF deben cumplir con la norma ASHRAE 15-2011 - Estándar de seguridad para sistemas de refrigeración (aprobado por ANSI). ASHRAE Standard 15-2001 guía a los diseñadores sobre cómo aplicar un sistema de refrigeración de una manera segura y proporciona información sobre el tipo y la cantidad de refrigerante permitidos en un espacio ocupado.

Los sistemas VRF elevan el espectro de fugas de refrigerante que pueden ser difíciles de encontrar y reparar; particularmente en espacios inaccesibles. La fuga de refrigerante, especialmente si el sistema sirve salas pequeñas, puede causar agotamiento de oxígeno. Así que se necesita limitar el tamaño del sistema dentro de límites razonables basados en el área más pequeña sala servida. Por ejemplo, si el área de la habitación es de 100 pies cuadrados, es necesario limitar la cantidad de refrigerante en menos de 30 libras. El cumplimiento de la norma ASHRAE 15-2011 es a veces difícil; especialmente cuando se trata de una tubería de refrigerante de gran longitud. La carga total de refrigerante en el circuito refrigerante debe estar dentro de los límites prescritos por la norma ASHRAE 15-2001. Esto es para garantizar la seguridad de los ocupantes si se libera toda la carga.

Pocos fabricantes de VRF han desarrollado productos y protocolos para abordar las preocupaciones de las fugas de refrigerante. Por lo general, todas las juntas son

soldadas con electrodos sin brillo. Los cabezales y los divisores están diseñados específicamente para que no requieren la quema de un producto para la soldadura o cambiar el grosor de la pared.

Gestión del aceite

Como el sistema tiene una mayor extensión, los tubos de refrigerante atraviesan largas longitudes; de ahí que su prueba de presión y protección se vuelva crítica. Los circuitos de tubería de refrigerante largo también plantean preocupaciones sobre el retorno de aceite. Típicamente, cada compresor tiene su propio separador de aceite que está optimizado para el sistema VRF. Periódicamente, el VRF entra en el modo de recuperación de aceite, durante el cual la válvula de expansión termostática se abre y el compresor hace un ciclo a alta presión para eliminar el aceite de cualquier lugar donde se haya acumulado.

Requisitos de aire fresco (Cumplimiento de la norma ANSI / ASHRAE 62.1)

Uno de los aspectos más desafiantes del diseño de sistemas VRF es la introducción de aire exterior para cumplir con la Norma ANSI / ASHRAE 62.1, Ventilación para Calidad del Aire Interior Aceptable y códigos de construcción que recomienda típicamente de 15 a 20 CFM de aire fresco por persona. Al igual que todos los sistemas Split, los sistemas VRF no proporcionan ventilación propia, por lo que es necesario un sistema de ventilación separado.

La ventilación se puede integrar con el sistema VRF de varias maneras.

Un sistema de ventilación separado y una unidad de acondicionamiento podrían ser instalados usando tecnología convencional y la función del sistema VRF estaría restringida al aire de recirculación. Algunas unidades VRF tienen la capacidad de manejar un poco de aire exterior y que puede ser utilizado. Llevar el aire exterior a la habitación y luego acondicionarlo con el VRF no se recomienda excepto en climas secos donde la condensación no creará problemas de humedad. En climas

húmedos, proporcionar aire exterior pre-acondicionado a cada unidad interior garantiza una buena calidad del aire interior.

Algunos fabricantes proporcionan una unidad de recuperación de calor que proporciona intercambio de calor entre el aire exterior entrante y el aire de escape desde el espacio con aire acondicionado independientemente de las unidades interiores. Con estos sistemas se suministra una cantidad igual de aire exterior y aire de escape y después se agota desde el espacio con aire acondicionado. El aire de suministro y de escape pasa por un intercambiador de calor de modo que se recupera calor del aire de escape y se utiliza para calentar o enfriar el aire exterior. Esta solución tiene la limitación de que el aire se introduce en el espacio a dos temperaturas diferentes, es decir, la de la unidad interior y la de la unidad de recuperación de calor. Si es posible, siempre es ideal introducir aire exterior en la unidad interior.

Eliminación de partículas

La Norma ASHRAE 62.1-2004 (ítem 5.9) discute específicamente la remoción de partículas y cómo las unidades interiores VRF pueden o no pueden cumplir con los requisitos.

Los filtros de partículas o los filtros de aire tienen un valor mínimo de notificación de la eficiencia (MERV) de no menos de 6 y están clasificados de acuerdo con ANSI / ASHRAE 52.2-1999.

El filtro estándar con una prueba gravimétrica de eficiencia del 50% (que es MERV 1 o 2) NO es aceptable.

Nota: Los filtros MERV de alto rating tienen un mayor costo y una alta caída de presión. Estos son a menudo ubicados en unidades ducteables y algunas unidades sin ductos específicas, tales como tipo de Casette de doble flujo o de flujo múltiple, unidades de techo, entre otras unidades.

Los filtros de alto rating no están disponibles para todos los tipos de unidades interiores, tales como las unidades de pared, unidades Piso-Techo, entre otros equipos.

Preocupaciones ambientales

Los problemas de agotamiento de ozono se han convertido en una preocupación mundial y una alta carga de refrigerante asociada a las largas tuberías de refrigerantes de los sistemas VRF es un fuerte negativo para el sistema. Pero con los nuevos desarrollos de refrigerantes, los avances en los controles de refrigerante han transformado la tecnología hasta cierto punto. Habitualmente se utilizan refrigerantes HFC, típicamente R-410-A y R-407-C.

Fiabilidad y mantenimiento

Aunque los proveedores afirman que los sistemas VRF son muy fiables, los contratistas e ingenieros creen que un sistema VRF con muchos compresores (por ejemplo, 20 compresores para 100 toneladas de refrigeración) es intrínsecamente menos fiable que un enfriador que tiene un número menor de compresores (por ejemplo, 1 a 4 compresores para 100 toneladas). Sin embargo, también se reconoce como una ventaja ya que, a diferencia de un Chiller, un fallo de un solo compresor tendría un impacto limitado en la capacidad del sistema para funcionar.

Garantía de rendimiento

Actualmente, no existe un estándar ARI aprobado para una clasificación de rendimiento de los sistemas VRF. En consecuencia, los fabricantes deben solicitar una exención del Departamento de Energía para comercializar sus productos en los Estados Unidos. Aunque se han concedido estas exenciones, deben presentarse nuevas solicitudes para nuevos grupos de productos.

Concluyendo.

VRF ofrece una alternativa realista a los sistemas centrales tradicionales. Captura muchas de las características de los sistemas de agua refrigerada, al tiempo que incorpora la simplicidad de los sistemas DX.

Características sobresalientes:

- El caudal de refrigerante se ajusta constantemente mediante una válvula de expansión electrónica en respuesta a variaciones de carga, ya que las habitaciones requieren más o menos enfriamiento. Además, si se utilizan bombas de calor reversibles, la salida de calefacción se puede variar para que coincida con la variación de la pérdida de calor en una habitación;
- Una válvula de expansión o válvula de control puede reducir o detener el flujo de refrigerante a cada unidad interior, controlando así su salida a la habitación;
- Este tipo de sistema consta de un número de unidades interiores (hasta 48 y varía según el fabricante) conectadas a una o más unidades de condensación externas;
- El caudal de refrigerante global se varía utilizando un compresor de velocidad variable controlado por inversor, o varios compresores de capacidad variable en respuesta a cambios en el requerimiento de enfriamiento o calentamiento dentro del espacio con aire acondicionado;
- Un sistema de control permite cambiar entre los modos de calefacción y refrigeración si es necesario. En versiones más sofisticadas, las unidades interiores pueden funcionar en modos de calefacción o refrigeración independientemente de otras;
- Un sistema VRF utiliza inversores o compresores scroll. Son eficientes y tranquilos. y generalmente se sellan herméticamente. Las unidades de tamaño pequeño a mediano pueden tener 2 compresores;
- Es factible un trabajo de tubería de refrigeración de hasta 500 pies de largo;
- Las diferencias de nivel de trabajo de tubería de refrigeración entre unidades interiores y exteriores de hasta 150 pies es posible;
- Refrigerantes HFC amigables con el ozono; Se usan típicamente R-410-A y R-407-C;
- COP (Coeficiente de Rendimiento) puede ser tan alto como 3.8;

- Las líneas de líquido refrigerante tienden a tener unos diámetros de 3/8 "y líneas de gas de 5/8" a 3/4 "de diámetro;
- El control central de un sistema VRV se puede lograr mediante controladores centralizados;

La tecnología VRV / VRF se basa en el simple ciclo de compresión de vapor, pero las capacidades y limitaciones del sistema deben ser completamente comprendidas y evaluadas cuidadosamente para determinar su idoneidad.

Tabla 1. Comparación de VRF y sistemas HVAC unitarios

Ítem	Descripción	Sistema VRF	Sistema Unitario
1	**Componentes de las unidades de condensación**		
1.1	Compresor simple o múltiple	Sí	Sí
1.2	Separador de aceite para cada compresor o para todos los compresores	Sí	Sí
1.3	Control de nivel de aceite	Sí	Sí
1.4	Retorno de aceite activo	Sí	En algunas unidades
1.5	Opción para calefacción y refrigeración	Sí	Sí, para deshacerse del refrigerante
	Calefacción / refrigeración simultánea	Sí	No
1.6	Enfriado por aire o condensador refrigerado por agua	Sí	Sí
1.7	Receptor de líquido	Sí	Sí
1.8	Control del nivel de refrigerante en el receptor de líquido	Sí	Sí
1.9	Control de temperatura de condensación	Sí	Es una opción
1.1	Control de la capacidad por la presión de succión	Sí	Sí
1.11	Control de la capacidad de refrigeración del compresor por velocidad (RPM) o pasos	Sí	Sí
1.12	Acumulador de succión	Depende del sistema	Sí
2	**Líneas de refrigerante**		
2.1	Líneas de líquido largas a muchos evaporadores	Sí	Sí
2.2	Tubos de refrigerante de procedimiento de diseño especial debido a caída de presión y retorno de aceite	Sí	Sí
3	**Unidades internas**		
3.1	Varias unidades de cualquier tamaño	Sí	Sí
3.2	Control independiente para cada evaporador mediante una válvula de expansión electrónica	Sí	Sí
3.3	Enfriamiento mecánico	Proveído para la caída de presión (si es necesario) y para mejorar funcionamiento	Proporcionado para mejorar el rendimiento
3.4	Válvula de expansión capaz de manejar diferentes capacidades de enfriamiento y diferencial de presión	Válvula de expansión electrónica	Válvula de expansión termostática o electrónica
3.5	Descongelación de la bobina y del drenaje	Sólo es necesario para el calentamiento de la unidad externa	Funcionamiento y protección
3.6	Filtro de aire	Sí	No necesariamente
3.7	Bomba de drenaje	Depende	Depende
4	**Controles**		
4.1	Unidad de condensación de control por microprocesador	Sí	Sí
4.2	Microprocesador en el evaporador	Sí	Sí
4.3	BMS disponible	Sí	Sí
4.4	Inversores de potencia	Sí	Sí
4.5	Códigos de alarma	Sí	Sí

Fuente: (Bathia, 2014)

CAPÍTULO II: ANÁLISIS, PLANTEAMIENTO Y CÁLCULOS

La Universidad APEC es la Institución primogénita de Acción Pro Educación y Cultura (APEC). Nace con el nombre de Instituto de Estudios Superiores(IES), y, en septiembre de 1965, crea su primera Facultad con las Escuelas de Administración de Empresas, Contabilidad y Secretariado Ejecutivo Español y Bilingüe.

En 1968, mediante Decreto No.2985, el Poder Ejecutivo le concede el beneficio de la personalidad jurídica para otorgar títulos académicos superiores, con lo cual la Institución alcanza categoría de Universidad.

El 11 de agosto de 1983, el Consejo Directivo de APEC, mediante la Resolución No. 3, adopta un nuevo símbolo para la Institución y su identificación como Universidad APEC (UNAPEC). Posteriormente, el Poder Ejecutivo autorizó este cambio de nombre por medio del Decreto No. 2710, del 29 de enero de 1985.

El campus de Ingeniería de la universidad APEC (Campus II) se encuentra en la Avenida 27 de Febrero, esquina Calle Caonabo. En ella se imparten las materias para las carreras de Ingeniería Eléctrica, Electrónica e Industrial y en menor medida de Ingeniería de Software y Sistemas de Computación.

El Edificio II del campus II contiene los laboratorios donde se ponen a prueba las teorías de las materias de Ingeniería, Química y Física. Es el único que contiene Acondicionadores de Aire en todas sus aulas. Por esta razón es que precisamente el Edificio II es el objeto de estudio de este trabajo de investigación, donde podemos hacer un contraste con resultados de una muestra palpable.

2.1. Cálculo de Ganancias de Calor en Recintos

Los componentes que contribuyen a la ganancia de calor en un recinto son los siguientes:

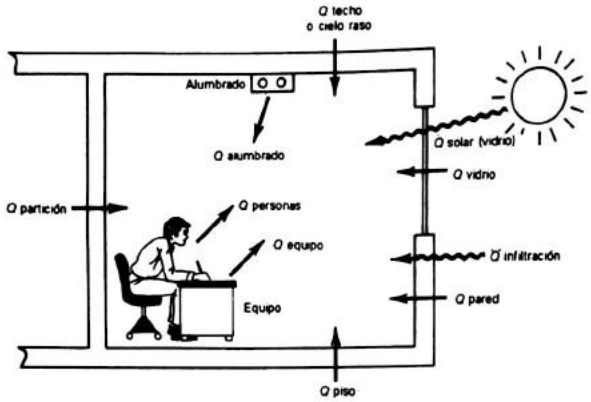


Ilustración 20. Componentes de paredes, techo y vidrio, Q., Fuente: (Pita, 1994).

1. Conducción a través de paredes, techo y vidrios al exterior.
2. Conducción a través de divisiones internas, cielos rasos y pisos.
3. Radiación solar a través de vidrios.
4. Alumbrado.
5. Personas.
6. Equipos.
7. Infiltración del aire exterior a través de aberturas.

Según la descripción anterior los puntos 1 a 3 son ganancias de calor externo, y los puntos 4 a 6 son ganancias de calor interno. La infiltración es una clase de calor separada.

Las ganancias de calor se agrupas en dos:

- Ganancia de calor sensible: Ocasionan un aumento de la temperatura del aire
- Ganancias de calor latente: Se debe a la adición de Vapor de Agua, y por lo tanto aumentan la humedad.

Los puntos 1 a 4 sólo son ganancias de alto sensible, los puntos 5 a 7 pueden ser parte de calor sensible y parte de calor latente, las 6 dependerá el tipo de equipo, podría estar en ambas.

2.2. Conducción a través de la estructura exterior.

Las ganancias de calor por conducción a través de paredes, techo y vidrios que dan al exterior se calculan con la siguiente ecuación.

$$Q = U\ x\ A\ x\ DTCE_e$$

Donde:

- ***Q*** = ganancia neta del recinto por conducción a través del techo, paredes o vidrios, BTU/h.
- ***U*** = Coeficiente general de transferencia de calor para el techo, paredes o vidrios, BTU/ (h * ft^2 * °F)
- ***A*** = área del techo, pared o vidrios, ft^2.
- ***DTCE$_e$*** = diferencia de temperatura para carga de enfriamiento, °F**.**

Los valores de U se encuentran en los Apéndices A y B.

DTCE es la diferencia de temperatura que toma en cuenta el efecto de la energía calorífica. Los Apéndices A y B, presentan una lista de valores DTCE para algunas formas de construcción de paredes y techo.

Los valores de DTCE que se encuentran en las Apéndices A y B se deben corregir como sigue:

$$DTCE_e = [(DTCE + LM)\ x\ k + \ (78 - t_r) + (t_0 - 85)]\ x\ f$$

Siendo:

- *DTCE$_e$ = Valor corregido de DTCE, °F*
- *DTCE = temperaturas de los Apéndices A o B, °F.*
- *LM = corrección para latitud al color y mes, del Apéndice C.*

- *K = corrección debido al color de la superficie*
- *K = 1.0 para superficies oscuras o áreas industriales*
- *K = 0.5 para techos de color, claro en zonas rurales.*
- *K = 0.65 para paredes de color claro en zonas rurales.*
- t_0 *= temperatura del recinto, °F.*
- t_r *= temperatura de diseño exterior primerio, °F.*
- *f = factor de corrección para ventilación del cielo raso.*
- *F = 0.75 para* ventiladores entrepiso (techo falso) en los demás casos, usar f = 1.0

Se recomienda que k = 1.0 en cualquier lugar donde los colores se puedan oscurecerse debido a la contaminación o a otras causas.

2.3. Conducción a través de la estructura interior

El calor que pasa desde los espacios interiores sin acondicionamiento hasta los espacios acondicionados a través de divisiones, pisos y cielos rasos se puede calcular de la siguiente manera:

$$Q = U\ x\ A\ x\ DT$$

Donde:

- *Q = velocidad de transferencia de calor a través de la división, piso o cielo raso, BTU/h.*
- *U = Coeficiente global de transferencia de calor para la división, piso o cielo raso,* BTU/ (h * ft^2 * °F)*.*
- *A = área de la división, piso o cielo raso, $ft^{2.}$*
- *DT =* ***diferencia de temperatura entre los espacios sin acondicionar y los acondicionados, °F.***

En caso de que esté definida la temperatura del espacio sin acondicionar, se emplea con frecuencia una aproximación que consiste en suponer que está a 5ºF menos que la temperatura exterior. Los espacios con fuentes de calor, como los cuartos de calderas, pueden estar a temperaturas mucho mayores.

2.4. Radiación solar a través de vidrios

La energía radiante del sol pasa a través de materiales transparentes como el vidrio y se transforma en ganancia de calor al recinto. Su valor varía con la hora, la orientación, el sombreado y el efecto de almacenamiento. La ganancia neta de calor se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$Q = FGCS\ x\ A\ x\ CS\ x\ FCE$$

Donde:

- *Q = Ganancia neta por radiación solar a través del vidrio, BTU/h*
- *FGCS = factor de ganancia máxima de calor solar, BTU/h - ft²*
- *A = área del vidrio, ft²*
- *CS = coeficiente de sombreado*
- *FCE = factor de carga de enfriamiento del vidrio*

El factor de ganancia de calor solar (FGCS) es la ganancia máxima de calor solar a través de un vidrio sencillo de 1/8 de pulgada en un mes, orientación y latitud dados. En el Apéndice D se muestran unos valores para el vigésimo primer día de cada mes.

El factor FGCS da los valores de ganancia máxima de calor sólo para el tipo de vidrio que se especifica, y sin dispositivos de sombra, en el Apéndice D se observan valores para FGCS. Para tomar en cuenta ganancias de calor con diferentes tipos de ventanas, se introduce el coeficiente de sombreado, CS. Este coeficiente es la cantidad proporcional de ganancia máxima de calor a través de distintos tipos de vidrio sencillo de 1/8 pulgada. El Apéndice E muestra algunos valores del CS.

El factor de carga de enfriamiento FCE considera el almacenamiento de una parte de la ganancia de calor solar. Los valores de FCE que se deben aplicar en los cálculos de ganancia de calor solar aparecen en el Apéndice G. El Apéndice H tiene una lista que separa para construcciones ligeras (L), mediana (M) y pesada (P). Los valores también dependerás si hay dispositivos interiores de sombreado.

El área del vidrio es la parte de la construcción que recibe la radiación solar directa. Las proyecciones exteriores o los edificios vecinos pueden eliminar la radiación, sombreando todo o parte del vidrio. El efecto de las proyecciones superiores se puede encontrar en el Apéndice H. Los valores que aparecen allí son los pies de sombra en la pared causados por pie de extensión del saliente.

Cuando el vidrio recibe la sombra de algunas obstrucciones exteriores sigue recibiendo algo de radiación solar indirecta desde el cielo. A ésta se le llama radiación difusa. La ganancia de calor solar se calcula del mismo modo que cuando el vidrio recibe la radiación solar directa, pero el FGCS es mucho menos. Los valores que aparecen en las tablas 8 y 9 para una orientación hacia el norte se pueden usar, con exactitud razonable, para vidrios sombreados, cuando las latitudes son mayores que 24ºN.

2.5. Alumbrado

La ecuación para calcular la ganancia de calor debida al alumbrado es:

$$Q = 3.4\ x\ W\ x\ FB\ x\ FCE$$

Donde:

- *Q = ganancia neta de calor debida al alumbrado, BTU/h.*
- *W = capacidad del alumbrado, watts.*
- *FB = factor de balastro.*
- *FCE = factor de carga de enfriamiento para el alumbrado.*

El termino W es la capacidad nominal de las luces en uso, expresadas en watts. En muchas ocasiones el alumbrado está encendido siempre, pero si no lo está, se debe

emplear la unidad real. El número *3.4 en la fórmula* es para convertir de Watts a BTU/h.

El factor FB toma en cuenta las pérdidas de calor en el balastro de las unidades fluorescentes, u otras pérdidas especiales. Un valor típico de FB es 1.25 para el alumbrado fluorescentes, pero se debe verificar si hay dudas. Para el alumbrado incandescente no hay pérdidas adicionales y el FB = 1.

El factor FCE toma en cuenta el almacenamiento de parte de la ganancia de calor por alumbrado. El efecto de almacenamiento depende de cuánto tiempo está encendido el alumbrado y trabaja el sistema de enfriamiento, así como de la construcción del edificio, el tipo de unidades de alumbrado, y la cantidad de ventilación. Para cualquiera de las siguientes condiciones no se puede permitir efecto de almacenamiento:

1. Si el sistema de enfriamiento sólo trabaja durante las horas de ocupación.
2. Si el sistema de enfriamiento trabaja más de 16 h.
3. Si se permite aumentar la temperatura del recinto durante las horas cuando no se ocupa oscilación de temperatura.

El valor usado para FCE será igual a 1, en caso de que se pueda aplicar un caso fuera de las excepciones citadas es posible encontrarlos en el *ASHRAE Fundamentals.*

2.6. Personas

La ganancia de calor debida a las personas se comprende de dos partes: el calor sensible y el calor latente que resulta de la transpiración. Algo de calor sensible se puede absorber por el efecto de almacenamiento de calor, pero no de calor latente. Las ecuaciones para las ganancias de calor sensible y latente originado en las personas son:

$$Q_s = q_s \, x \, n \, x \, FCE$$

$$Q_l = q_l \, x \, n$$

Donde:

- Q_s Q_l = *ganancias de calor sensible y latente*
- q_s q_l = *ganancias de calor sensible y latente por persona*
- *n = número de personas*
- *FCE = factor de carga de enfriamiento para las personas*

La velocidad de ganancia de calor debida a la gente depende de su actividad física. El Apéndice J muestra una lista de valores para algunas actividades típicas. Las velocidades están determinadas por una temperatura de BS de recinto de 78ºF. Como se observa, los valores cambian ligeramente para otras temperaturas.

El factor FCE, del efecto de almacenamiento de calor, se aplica a la ganancia de calor debida a las personas. Si el sistema de acondicionamiento de aire se apaga durante la noche, no se debe incluir almacenamiento de calor y el FCE = 1.0. La tabla 12 da una lista de valores de ese factor para las personas.

2.7. Equipos

La ganancia de calor debida al equipo se puede calcular en forma directa consultando al fabricante o a los datos de placa, tomando en cuenta si su uso es intermitente. Algunos equipos producen tanto calor sensible como latente. En el Apéndice L se muestran algunos valores de la producción de calor para aparatos eléctricos típicos. Nótese que cuando se emplean campanas para extraer el aire caliente, la salida de calor al recinto es menor. Los factores FCE, que no aparecen aquí, se aplican si el sistema funciona las 24 horas.

2.8. Infiltración

La infiltración de aire a través de fisuras en las ventanas o puertas ocasiona una ganancia de calor, tanto sensible como latente, en el recinto.

Los dos medios por los cuales puede entrar el aire caliente a la construcción se llama infiltración y ventilación. Las cantidades de calor que resultan se llaman carga de calefacción por infiltración y carga de calefacción por ventilación.

La infiltración cuando el aire exterior entra a través de aberturas en la construcción, debido a la presión del viento. Las aperturas que más nos ocupan son las fisuras alrededor de los marcos de ventanas y puertas, y puertas abiertas. El aire infiltrado que entra a un recinto hace aumentar la temperatura del aire interior. Por lo tanto, se debe suministrar carga de enfriamiento para mantener la temperatura de diseño. Esto se expresa mediante la siguiente ecuación, llamada la ecuación de calor sensible.

$$Q = m\ x\ c\ x\ CT$$

Para calcular el efecto del aire de infiltración sobre la pérdida de calor sensible, es más cómodo emplear las unidades de CFM (ft^3/min) para el flujo de aire, en lugar de expresarlo en unidades de masa de lb/h como en la ecuación anterior. Después de convertir las unidades, con el calor específico válido para el aire, se deduce la siguiente ecuación:

$$Q_s = 1.1\ x\ CFM\ x\ CT$$

Donde:

- *Q_s = calor sensible necesario para el aire de infiltración o ventilación, BTU/h.*
- *CFM = velocidad de infiltración o ventilación del aire, ft^3/min.*
- *CT = diferencia de temperatura entre el aire interior y exterior, °F.*

2.8.1. Efecto del aire de infiltración sobre ganancia de calor latente.

Como con frecuencia el aire de infiltración es menos húmedo que el aire interior, la humedad interior puede descender a un nivel inadmisible para el confort. Para conservar la humedad del aire del recinto, se le debe agregar vapor de agua. La adición de esta humedad necesita de calor: el calor latente de evaporación del agua:

$$Q_L = 0.68\ x\ CFM\ x\ (W'_i - W'_p)$$

Donde:

- *Q_L = calor latente necesario para el aire de infiltración o de ventilación BTU/h.*
- *CFM = velocidad de infiltración o ventilación del aire, ft^3/min*
- *W'_i W'_e = relaciones de humedad mayor (interior) y menor (exterior) expresada en granos de agua/lb de aire seco (gr w/lb d.a.)*

En resumen, las dos últimas ecuaciones se usan para calcular la ganancia de calor sensible y latente originadas por el aire de infiltración. La pérdida de calor sensible debe calcularse siempre. Si la menor humedad del aire que resulta de las infiltraciones es aceptable, entonces se puede ignorar el efecto de la pérdida de calor latente.

Hay dos métodos para calcular los CFM del aire de infiltración: el método de las fisuras y el método de cambio de aire.

Método de fisura. Este método supone que se puede medir o establecer una tasa de infiltración del aire con exactitud, por pie de fisura. Los reglamentos energéticos tienen una lista de velocidades máximas permisibles de infiltración para construcciones nuevas o remodelaciones. El Apéndice N es una lista de tasas típicas de infiltración en los reglamentos de energía, basados en un viento de 25 MPH.

Tabla 2. Tasas máximas recomendadas de infiltración para diseño a través de ventanas y puertas exteriores.

Componente	Tasa de infiltración
Ventanas	0.75 CFM /ft de fisura
Puertas	1.0 CFM /ft de fisura

Fuente: (Pita, 1994)

2.9. Carga de enfriamiento o de refrigeración

Una vez que se han calculado las ganancias máximas de calor sensible y latente, el siguiente paso es calcular la carga de refrigeración, a la cual se le llama también carga de enfriamiento. Es la carga a la que se somete el equipo de enfriamiento. La carga de refrigeración será mayor que la carga de la construcción porque hay ganancias de calor que pasa al sistema de acondicionamiento de aire desde el exterior. Esas ganancias pueden provenir de:

1. *Ventilación, aire exterior.*
2. *Ganancias de calor a ductos*
3. *Calor producido por los ventiladores y bombas del sistema de acondicionamiento de aire.*
4. *Fugas de aire de los ductos.*

2.9.1. Ventilación

En general se admite algo de aire exterior por razones sanitarias y de confort. El calor sensible y el calor latente de este aire es mayor que el del aire del recinto, por lo cual se vuelve parte de la carga de enfriamiento. Sin embargo, el exceso de calor se elimina en general en el equipo de enfriamiento, y por lo tanto es parte de la carga de refrigeración, pero no de la carga del recinto.

Las ecuaciones para calcular las cargas de enfriamiento sensible y latente debidas al aire de ventilación son:

$$Q_s = 1.1\ x\ CFM\ x\ CT$$

$$Q_l = 0.68\ x\ CFM\ x\ (W'_e - W'_i)$$

Donde:

- *Q_s Q_l = cargas de calor sensible y latente debidas al aire de ventilación, BTU/h.*
- *CFM = flujo de aire de ventilación, ft^2/min.*
- *CT = cambio de temperatura entre el aire exterior e interior, °F.*

- *W_e'W_i' = Relación de humedad exterior e interior, g de agua/lb aire seco.*

El calor $Q_{t\ total}$ retirado del aire de ventilación es: $Q_t = Q_s + Q_l$.

En el Apéndice J se presentan tasas sugerida de ventilación con aire exterior, y niveles típicos de ocupación para algunas aplicaciones. Hay valores mínimos los cuáles se utilizan cuando el costo es de primera importancia, y los recomendados cuando se necesita mejor calidad de aire.

2.10. Condiciones de Diseño

Los cálculos de cargas de enfriamiento se basan en general sobre las *condiciones de diseño*, interiores y exteriores, de temperatura y humedad. Las condiciones de interior son las que brindarán el confort necesario. Las condiciones de diseño exteriores, en verano, se basan en máximos razonables, a partir de registros de clima.

Se pueden considerar a los meses de junio a septiembre como aquellos para los que se toman las temperaturas de diseño exterior en el hemisferio norte. A veces, las cargas máximas de enfriamiento se presentan en otros meses, debido a la radiación solar, y por lo tanto es necesario conocer las condiciones esperadas de diseño en esas ocasiones. La tabla 17 da una lista de valores adecuados.

2.11. Cálculo de carga de enfriamiento de cada Aula del Edificio II de la Universidad APEC.

A continuación, se presentan unas tablas con toda la información de la carga frigorífica de cada aula, calculada y agrupada por los elementos que puedan producir ganancias de calor y que es necesario disipar. De esta manera podemos calcular la capacidad de acondicionamiento de aire necesaria para cada espacio.

Aula	0201	Temp. Int.	72	Temp. Ext.	94	
Categoría	Descripción	Tipo	U	A (ft^2)	$DTCE_e$	Q (BTU/h)
Pared	Norte	Pared de Concreto Pesado + Acabado 4 In	0.585	193.65	27.35	3,098.37
	Oeste		0.585	250.46	27.35	4,007.23
	Este		0.585	250.46	3.00	439.55
	Sur		0.585	193.65	27.35	3,098.37
Techo	Concreto Ligero de 4 in		0.213	500.91	3.00	320.08
Categoría	Descripción	Cant.	FCE	q_s (qs x n x FCE)	q_l (q_l x n)	Q (BTU/h)
Personas	Parado Trabajo ligero	6.00	1.00	325.00	315.00	3,840.00
	Sentado Trabajo Ligero	14.00	1.00	255.00	255.00	7,140.00
Categoría	Tipo	Cant. Tubos	FCE	FB	W (Por tubo)	Q (BTU/h)
Alumbrado	Lámpara Fluorescente	8.00	1.00	1.25	32.00	1,088.00
Categoría	Descripción	Cantidad	Potencia	Factor	HP	Q (BTU/h)
Equipos	Computadoras	8.00	250.00	3.41		6,820.00
	Motores				0.25	0.00
Categoría	Descripción	CFM	CT	W_e	W_i	Q (BTU/h)
Ventilación	Calor Sensible	200.00	22.00			4,840.00
	Calor Latente	200.00	22.00	95.00	77.00	2,448.00
TOTALES	**RTHG**	37,139.60	Factor	1.3		
	Carga de Enfriamiento	48,281.48	Toneladas	**4.02**		

Tabla 3. Carga de enfriamiento del aula 0201, Fuente: Elaboración Propia

Aula	0202	Temp. Int.	72	Temp. Ext.	94	
Categoría	Descripción	Tipo	U	A (ft^2)	$DTCE_e$	Q (BTU/h)
Pared	Norte	Pared de Concreto Pesado + Acabado 4 In	0.585	186.55	27.35	2,984.76
	Oeste		0.585	250.46	3.00	439.55
	Este		0.585	250.46	3.00	439.55
	Sur		0.585	186.55	27.35	2,984.76
Techo	Concreto Ligero de 4 in		0.213	482.54	3.00	308.35
Categoría	Descripción	Cant.	FCE	q_s (qs x n x FCE)	q_l (q_l x n)	Q (BTU/h)
Personas	Parado Trabajo ligero	6.00	1.00	325.00	315.00	3,840.00
	Sentado Trabajo Ligero	18.00	1.00	255.00	255.00	9,180.00
Categoría	Tipo	Cant. Tubos	FCE	FB	W (Por tubo)	Q (BTU/h)
Alumbrado	Lámpara Fluorescente	8.00	1.00	1.25	32.00	1,088.00
Categoría	Descripción	Cantidad	Potencia	Factor	HP	Q (BTU/h)
Equipos	Computadoras	6.00	250.00	3.41		5,115.00
	Motores	10.00			0.25	2,500.00
Categoría	Descripción	CFM	CT	W_e	W_i	Q (BTU/h)
Ventilación	Calor Sensible	240.00	22.00			5,808.00
	Calor Latente	240.00	22.00	95.00	77.00	2,937.60
TOTALES	**RTHG**	37,625.57	Factor	1.3		
	Carga de Enfriamiento	48,913.24	Toneladas	**4.08**		

Tabla 4. Carga de enfriamiento del aula 0202, Fuente: Elaboración Propia.

Aula	0203	Temp. Int.	72	Temp. Ext.	94	
Categoría	Descripción	Tipo	U	A (ft^2)	$DTCE_e$	Q (BTU/h)
Pared	Norte	Pared de Concreto Pesado + Acabado 4 In	0.585	186.55	27.35	2,984.76
	Oeste		0.585	250.46	3.00	439.55
	Este		0.585	250.46	27.35	4,007.23
	Sur		0.585	186.55	27.35	2,984.76
Techo	Concreto Ligero de 4 in		0.213	482.54	3.00	308.35
Categoría	Descripción	Cant.	FCE	q_s (qs x n x FCE)	q_l (q_l x n)	Q (BTU/h)
Personas	Parado Trabajo ligero	2.00	1.00	325.00	315.00	1,280.00
	Sentado Trabajo Ligero	14.00	1.00	255.00	255.00	7,140.00
Categoría	Tipo	Cant. Tubos	FCE	FB	W (Por tubo)	Q (BTU/h)
Alumbrado	Lámpara Fluorescente	8.00	1.00	1.25	32.00	1,088.00
Categoría	Descripción	Cantidad	Potencia	Factor	HP	Q (BTU/h)
Equipos	Computadoras	6.00	250.00	3.41		5,115.00
	Motores	0.00			0.25	0.00
Categoría	Descripción	CFM	CT	W_e	W_i	Q (BTU/h)
Ventilación	Calor Sensible	160.00	22.00			3,872.00
	Calor Latente	160.00	22.00	95.00	77.00	1,958.40
TOTALES	**RTHG**	31,178.05	Factor	1.3		
	Carga de Enfriamiento	40,531.46	Toneladas	**3.38**		

Tabla 5. Carga de enfriamiento del aula 0203, Fuente: Elaboración Propia.

Aula	0204	Temp. Int.	72	Temp. Ext.	94	
Categoría	Descripción	Tipo	U	A (ft^2)	$DTCE_e$	Q (BTU/h)
Pared	Norte	Pared de Concreto Pesado + Acabado 4 In	0.585	186.55	27.35	2,984.76
	Oeste		0.585	250.46	27.35	4,007.23
	Este		0.585	250.46	3.00	439.55
	Sur		0.585	186.55	27.35	2,984.76
Techo	Concreto Ligero de 4 in		0.213	482.54	3.00	308.35
Categoría	Descripción	Cant.	FCE	q_s (qs x n x FCE)	q_l (q_l x n)	Q (BTU/h)
Personas	Parado Trabajo ligero	1.00	1.00	325.00	315.00	640.00
	Sentado Trabajo Ligero	20.00	1.00	255.00	255.00	10,200.00
Categoría	Tipo	Cant. Tubos	FCE	FB	W (Por tubo)	Q (BTU/h)
Alumbrado	Lámpara Fluorescente	8.00	1.00	1.25	32.00	1,088.00
Categoría	Descripción	Cantidad	Potencia	Factor	HP	Q (BTU/h)
Equipos	Computadoras	8.00	250.00	3.41		6,820.00
	Motores	0.00			0.25	0.00
Categoría	Descripción	CFM	CT	W_e	W_i	Q (BTU/h)
Ventilación	Calor Sensible	210.00	22.00			5,082.00
	Calor Latente	210.00	22.00	95.00	77.00	2,570.40
TOTALES	**RTHG**	37,125.05	Factor	1.3		
	Carga de Enfriamiento	48,262.56	Toneladas	**4.02**		

Tabla 6. Carga de enfriamiento del aula 0204, Fuente: Elaboración Propia

Aula	0205	Temp. Int.	72	Temp. Ext.	94	
Categoría	Descripción	Tipo	U	A (ft^2)	$DTCE_e$	Q (BTU/h)
Pared	Norte	Pared de Concreto Pesado + Acabado 4 In	0.585	186.55	27.35	2,984.76
	Oeste		0.585	250.46	3.00	439.55
	Este		0.585	250.46	3.00	439.55
	Sur		0.585	186.55	27.35	2,984.76
Techo	Concreto Ligero de 4 in		0.213	482.54	3.00	308.35
Categoría	Descripción	Cant.	FCE	q_s (qs x n x FCE)	q_l (q_l x n)	Q (BTU/h)
Personas	Parado Trabajo ligero	1.00	1.00	325.00	315.00	640.00
	Sentado Trabajo Ligero	20.00	1.00	255.00	255.00	10,200.00
Categoría	Tipo	Cant. Tubos	FCE	FB	W (Por tubo)	Q (BTU/h)
Alumbrado	Lámpara Fluorescente	8.00	1.00	1.25	32.00	1,088.00
Categoría	Descripción	Cantidad	Potencia	Factor	HP	Q (BTU/h)
Equipos	Computadoras	7.00	250.00	3.41		5,967.50
	Motores	0.00			0.25	0.00
Categoría	Descripción	CFM	CT	W_e	W_i	Q (BTU/h)
Ventilación	Calor Sensible	210.00	22.00			5,082.00
	Calor Latente	210.00	22.00	95.00	77.00	2,570.40
TOTALES	**RTHG**	32,704.87	Factor	1.3		
	Carga de Enfriamiento	42,516.33	Toneladas	**3.54**		

Tabla 7. Carga de enfriamiento del aula 0205, Fuente: Elaboración Propia.

Aula	0206	Temp. Int.	72	Temp. Ext.	94	
Categoría	Descripción	Tipo	U	A (ft^2)	$DTCE_e$	Q (BTU/h)
Pared	Norte	Pared de Concreto Pesado + Acabado 4 In	0.585	193.65	27.35	3,098.37
	Oeste		0.585	250.46	3.00	439.55
	Este		0.585	250.46	27.35	4,007.23
	Sur		0.585	193.65	27.35	3,098.37
Techo	Concreto Ligero de 4 in		0.213	502.20	3.00	320.91
Categoría	Descripción	Cant.	FCE	q_s (qs x n x FCE)	q_l (q_l x n)	Q (BTU/h)
Personas	Parado Trabajo ligero	6.00	1.00	325.00	315.00	3,840.00
	Sentado Trabajo Ligero	20.00	1.00	255.00	255.00	10,200.00
Categoría	Tipo	Cant. Tubos	FCE	FB	W (Por tubo)	Q (BTU/h)
Alumbrado	Lámpara Fluorescente	8.00	1.00	1.25	32.00	1,088.00
Categoría	Descripción	Cantidad	Potencia	Factor	HP	Q (BTU/h)
Equipos	Computadoras	1.00	250.00	3.41		852.50
	Motores	0.00			0.25	0.00
Categoría	Descripción	CFM	CT	W_e	W_i	Q (BTU/h)
Ventilación	Calor Sensible	260.00	22.00			6,292.00
	Calor Latente	260.00	22.00	95.00	77.00	3,182.40
TOTALES	**RTHG**	36,419.32	Factor	1.3		
	Carga de Enfriamiento	47,345.12	Toneladas	**3.95**		

Tabla 8. Carga de enfriamiento del aula 0206, Fuente: Elaboración Propia.

Aula	0207	Temp. Int.	72	Temp. Ext.	94	
Categoría	Descripción	Tipo	U	A (ft^2)	$DTCE_e$	Q (BTU/h)
Pared	Norte	Pared de Concreto Pesado + Acabado 4 In	0.585	193.65	27.35	3,098.37
	Oeste		0.585	193.65	27.35	3,098.37
	Este		0.585	250.46	3.00	439.55
	Sur		0.585	250.46	27.35	4,007.23
Techo	Concreto Ligero de 4 in		0.213	496.33	3.00	317.15
Categoría	Descripción	Cant.	FCE	q_s (qs x n x FCE)	q_l (q_l x n)	Q (BTU/h)
Personas	Parado Trabajo ligero	2.00	1.00	325.00	315.00	1,280.00
	Sentado Trabajo Ligero	18.00	1.00	255.00	255.00	9,180.00
Categoría	Tipo	Cant. Tubos	FCE	FB	W (Por tubo)	Q (BTU/h)
Alumbrado	Lámpara Fluorescente	8.00	1.00	1.25	32.00	1,088.00
Categoría	Descripción	Cantidad	Potencia	Factor	HP	Q (BTU/h)
Equipos	Computadoras	10.00	250.00	3.41		8,525.00
	Motores				0.25	0.00
Categoría	Descripción	CFM	CT	W_e	W_i	Q (BTU/h)
Ventilación	Calor Sensible	200.00	22.00			4,840.00
	Calor Latente	200.00	22.00	95.00	77.00	2,448.00
TOTALES	**RTHG**	38,321.67	Factor	1.3		
	Carga de Enfriamiento	49,818.17	Toneladas	**4.15**		

Tabla 9. Carga de enfriamiento del aula 0207, Fuente: Elaboración Propia.

Aula	0208	Temp. Int.	72	Temp. Ext.	94	
Categoría	Descripción	Tipo	U	A (ft^2)	$DTCE_e$	Q (BTU/h)
Pared	Norte	Pared de Concreto Pesado + Acabado 4 In	0.585	193.65	27.35	3,098.37
	Oeste		0.585	193.65	3.00	339.86
	Este		0.585	250.46	3.00	439.55
	Sur		0.585	250.46	27.35	4,007.23
Techo	Concreto Ligero de 4 in		0.213	496.33	3.00	317.15
Categoría	Descripción	Cant.	FCE	q_s (qs x n x FCE)	q_l (q_l x n)	Q (BTU/h)
Personas	Parado Trabajo ligero	4.00	1.00	325.00	315.00	2,560.00
	Sentado Trabajo Ligero	18.00	1.00	255.00	255.00	9,180.00
Categoría	Tipo	Cant. Tubos	FCE	FB	W (Por tubo)	Q (BTU/h)
Alumbrado	Lámpara Fluorescente	8.00	1.00	1.25	32.00	1,088.00
Categoría	Descripción	Cantidad	Potencia	Factor	HP	Q (BTU/h)
Equipos	Computadoras	12.00	250.00	3.41		10,230.00
	Motores				0.25	0.00
Categoría	Descripción	CFM	CT	W_e	W_i	Q (BTU/h)
Ventilación	Calor Sensible	220.00	22.00			5,324.00
	Calor Latente	220.00	22.00	95.00	77.00	2,692.80
TOTALES	**RTHG**	39,276.96	Factor	1.3		
	Carga de Enfriamiento	51,060.05	Toneladas	**4.26**		

Tabla 10. Carga de enfriamiento del aula 0208, Fuente: Elaboración Propia.

Aula	0209	Temp. Int.	72	Temp. Ext.	94	
Categoría	Descripción	Tipo	U	A (ft^2)	$DTCE_e$	Q (BTU/h)
Pared	Norte	Pared de Concreto Pesado + Acabado 4 In	0.585	193.65	27.35	3,098.37
	Oeste		0.585	193.65	3.00	339.86
	Este		0.585	250.46	27.35	4,007.23
	Sur		0.585	250.46	27.35	4,007.23
Techo	Concreto Ligero de 4 in		0.213	496.33	3.00	317.15
Categoría	Descripción	Cant.	FCE	q_s (qs x n x FCE)	q_l (q_l x n)	Q (BTU/h)
Personas	Parado Trabajo ligero	1.00	1.00	325.00	315.00	640.00
	Sentado Trabajo Ligero	16.00	1.00	255.00	255.00	8,160.00
Categoría	Tipo	Cant. Tubos	FCE	FB	W (Por tubo)	Q (BTU/h)
Alumbrado	Lámpara Fluorescente	8.00	1.00	1.25	32.00	1,088.00
Categoría	Descripción	Cantidad	Potencia	Factor	HP	Q (BTU/h)
Equipos	Computadoras	12.00	250.00	3.41		10,230.00
	Motores				0.25	0.00
Categoría	Descripción	CFM	CT	W_e	W_i	Q (BTU/h)
Ventilación	Calor Sensible	170.00	22.00			4,114.00
	Calor Latente	170.00	22.00	95.00	77.00	2,080.80
TOTALES	**RTHG**	38,082.64	Factor	1.3		
	Carga de Enfriamiento	49,507.43	Toneladas	**4.13**		

Tabla 11. Carga de enfriamiento del aula 0209, Fuente: Elaboración Propia.

Aula	0210	Temp. Int.	72	Temp. Ext.	94	
Categoría	Descripción	Tipo	U	A (ft^2)	$DTCE_e$	Q (BTU/h)
Pared	Norte	Pared de Concreto Pesado + Acabado 4 In	0.585	186.55	27.35	2,984.76
	Oeste		0.585	186.55	27.35	2,984.76
	Este		0.585	250.46	3.00	439.55
	Sur		0.585	250.46	27.35	4,007.23
Techo	Concreto Ligero de 4 in		0.213	478.13	3.00	305.53
Categoría	Descripción	Cant.	FCE	q_s (qs x n x FCE)	q_l (q_l x n)	Q (BTU/h)
Personas	Parado Trabajo ligero	1.00	1.00	325.00	315.00	640.00
	Sentado Trabajo Ligero	17.00	1.00	255.00	255.00	8,670.00
Categoría	Tipo	Cant. Tubos	FCE	FB	W (Por tubo)	Q (BTU/h)
Alumbrado	Lámpara Fluorescente	8.00	1.00	1.25	32.00	1,088.00
Categoría	Descripción	Cantidad	Potencia	Factor	HP	Q (BTU/h)
Equipos	Computadoras	7.00	250.00	3.41		5,967.50
	Motores				0.25	0.00
Categoría	Descripción	CFM	CT	W_e	W_i	Q (BTU/h)
Ventilación	Calor Sensible	180.00	22.00			4,356.00
	Calor Latente	180.00	22.00	95.00	77.00	2,203.20
TOTALES	**RTHG**	33,646.53	Factor	1.3		
	Carga de Enfriamiento	43,740.49	Toneladas	**3.65**		

Tabla 12. Carga de enfriamiento del aula 0210, Fuente: Elaboración Propia.

Aula	0211	Temp. Int.	72	Temp. Ext.	94	
Categoría	Descripción	Tipo	U	A (ft^2)	$DTCE_e$	Q (BTU/h)
Pared	Norte	Pared de Concreto Pesado + Acabado 4 In	0.585	186.55	27.35	2,984.76
	Oeste		0.585	186.55	3.00	327.40
	Este		0.585	250.46	3.00	439.55
	Sur		0.585	250.46	27.35	4,007.23
Techo	Concreto Ligero de 4 in		0.213	478.13	3.00	305.53
Categoría	Descripción	Cant.	FCE	q_s (qs x n x FCE)	q_l (q_l x n)	Q (BTU/h)
Personas	Parado Trabajo ligero	0.00	1.00	325.00	315.00	0.00
	Sentado Trabajo Ligero	32.00	1.00	255.00	255.00	16,320.00
Categoría	Tipo	Cant. Tubos	FCE	FB	W (Por tubo)	Q (BTU/h)
Alumbrado	Lámpara Fluorescente	8.00	1.00	1.25	32.00	1,088.00
Categoría	Descripción	Cantidad	Potencia	Factor	HP	Q (BTU/h)
Equipos	Computadoras	28.00	250.00	3.41		23,870.00
	Motores				0.25	0.00
Categoría	Descripción	CFM	CT	W_e	W_i	Q (BTU/h)
Ventilación	Calor Sensible	320.00	22.00			7,744.00
	Calor Latente	320.00	22.00	95.00	77.00	3,916.80
TOTALES	**RTHG**	61,003.26	Factor	1.3		
	Carga de Enfriamiento	79,304.24	Toneladas	**6.61**		

Tabla 13. Carga de enfriamiento del aula 0211, Fuente: Elaboración Propia.

Aula	0212	Temp. Int.	72	Temp. Ext.	94	
Categoría	Descripción	Tipo	U	A (ft^2)	$DTCE_e$	Q (BTU/h)
Pared	Norte	Pared de Concreto Pesado + Acabado 4 In	0.585	186.55	27.35	2,984.76
	Oeste		0.585	186.55	3.00	327.40
	Este		0.585	340.18	27.35	5,442.80
	Sur		0.585	340.18	27.35	5,442.80
Techo	Concreto Ligero de 4 in		0.213	680.36	3.00	434.75
Categoría	Descripción	Cant.	FCE	q_s (qs x n x FCE)	q_l (q_l x n)	Q (BTU/h)
Personas	Parado Trabajo ligero	0.00	1.00	325.00	315.00	0.00
	Sentado Trabajo Ligero	25.00	1.00	255.00	255.00	12,750.00
Categoría	Tipo	Cant. Tubos	FCE	FB	W (Por tubo)	Q (BTU/h)
Alumbrado	Lámpara Fluorescente	14.00	1.00	1.25	32.00	1,904.00
Categoría	Descripción	Cantidad	Potencia	Factor	HP	Q (BTU/h)
Equipos	Computadoras	25.00	250.00	3.41		21,312.50
	Motores				0.25	0.00
Categoría	Descripción	CFM	CT	W_e	W_i	Q (BTU/h)
Ventilación	Calor Sensible	250.00	22.00			6,050.00
	Calor Latente	250.00	22.00	95.00	77.00	3,060.00
TOTALES	**RTHG**	59,709.02	Factor	1.3		
	Carga de Enfriamiento	77,621.73	Toneladas	**6.47**		

Tabla 14. Carga de enfriamiento del aula 0212, Fuente: Elaboración Propia.

Aula	0213	Temp. Int.	72	Temp. Ext.	94	
Categoría	Descripción	Tipo	U	A (ft^2)	$DTCE_e$	Q (BTU/h)
Pared	Norte	Pared de Concreto Pesado + Acabado 4 In	0.585	198.82	27.35	3,180.99
	Oeste		0.585	198.82	27.35	3,180.99
	Este		0.585	340.18	3.00	597.02
	Sur		0.585	340.18	27.35	5,442.80
Techo	Concreto Ligero de 4 in		0.213	698.50	23.90	3,555.88
Categoría	Descripción	Cant.	FCE	q_s (qs x n x FCE)	q_l (q_l x n)	Q (BTU/h)
Personas	Parado Trabajo ligero		1.00	325.00	315.00	0.00
	Sentado Trabajo Ligero	22.00	1.00	255.00	255.00	11,220.00
Categoría	Tipo	Cant. Tubos	FCE	FB	W (Por tubo)	Q (BTU/h)
Alumbrado	Lámpara Fluorescente	20.00	1.00	1.25	32.00	2,720.00
Categoría	Descripción	Cantidad	Potencia	Factor	HP	Q (BTU/h)
Equipos	Computadoras	22.00	250.00	3.41		18,755.00
	Motores	0.00			0.25	0.00
Categoría	Descripción	CFM	CT	W_e	W_i	Q (BTU/h)
Ventilación	Calor Sensible	220.00	22.00			5,324.00
	Calor Latente	220.00	22.00	95.00	77.00	2,692.80
TOTALES	**RTHG**	56,669.48	Factor	1.3		
	Carga de Enfriamiento	73,670.33	Toneladas	**6.14**		

Tabla 15. Carga de enfriamiento del aula 0213, Fuente: Elaboración Propia.

Aula	0214	Temp. Int.	72	Temp. Ext.	94	
Categoría	Descripción	Tipo	U	A (ft^2)	$DTCE_e$	Q (BTU/h)
Pared	Norte	Pared de Concreto Pesado + Acabado 4 In	0.585	191.71	27.35	3,067.39
	Oeste		0.585	191.71	3.00	336.46
	Este		0.585	260.14	3.00	456.54
	Sur		0.585	260.14	27.35	4,162.14
Techo	Concreto Ligero de 4 in		0.213	515.07	23.90	2,622.08
Categoría	Descripción	Cant.	FCE	q_s (qs x n x FCE)	q_l (q_l x n)	Q (BTU/h)
Personas	Parado Trabajo ligero		1.00	325.00	315.00	0.00
	Sentado Trabajo Ligero	13.00	1.00	255.00	255.00	6,630.00
Categoría	Tipo	Cant. Tubos	FCE	FB	W (Por tubo)	Q (BTU/h)
Alumbrado	Lámpara Fluorescente	16.00	1.00	1.25	32.00	2,176.00
Categoría	Descripción	Cantidad	Potencia	Factor	HP	Q (BTU/h)
Equipos	Computadoras	13.00	250.00	3.41		11,082.50
	Motores	0.00			0.25	0.00
Categoría	Descripción	CFM	CT	W_e	W_i	Q (BTU/h)
Ventilación	Calor Sensible	130.00	22.00			3,146.00
	Calor Latente	130.00	22.00	95.00	77.00	1,591.20
TOTALES	**RTHG**	35,270.32	Factor	1.3		
	Carga de Enfriamiento	45,851.41	Toneladas	**3.82**		

Tabla 16. Carga de enfriamiento del aula 0214, Fuente: Elaboración Propia.

Aula	0215	Temp. Int.	72	Temp. Ext.	94	
Categoría	Descripción	Tipo	U	A (ft^2)	$DTCE_e$	Q (BTU/h)
Pared	Norte	Pared de Concreto Pesado + Acabado 4 In	0.585	191.71	27.35	3,067.39
	Oeste		0.585	191.71	3.00	336.46
	Este		0.585	260.14	27.35	4,162.14
	Sur		0.585	260.14	27.35	4,162.14
Techo	Concreto Ligero de 4 in		0.213	515.07	23.90	2,622.08
Categoría	Descripción	Cant.	FCE	q_s (qs x n x FCE)	q_l (q_l x n)	Q (BTU/h)
Personas	Parado Trabajo ligero		1.00	325.00	315.00	0.00
	Sentado Trabajo Ligero	19.00	1.00	255.00	255.00	9,690.00
Categoría	Tipo	Cant. Tubos	FCE	FB	W (Por tubo)	Q (BTU/h)
Alumbrado	Lámpara Fluorescente	16.00	1.00	1.25	32.00	2,176.00
Categoría	Descripción	Cantidad	Potencia	Factor	HP	Q (BTU/h)
Equipos	Computadoras	19.00	250.00	3.41		16,197.50
	Motores	0.00			0.25	0.00
Categoría	Descripción	CFM	CT	W_e	W_i	Q (BTU/h)
Ventilación	Calor Sensible	190.00	22.00			4,598.00
	Calor Latente	190.00	22.00	95.00	77.00	2,325.60
TOTALES	**RTHG**	49,337.32	Factor	1.3		
	Carga de Enfriamiento	64,138.52	Toneladas	**5.34**		

Tabla 17. Carga de enfriamiento del aula 0215, Fuente: Elaboración Propia.

Aula	0216	Temp. Int.	72	Temp. Ext.	94	
Categoría	Descripción	Tipo	U	A (ft^2)	$DTCE_e$	Q (BTU/h)
Pared	Norte	Pared de Concreto Pesado + Acabado 4 In	0.585	191.71	27.35	3,067.39
	Oeste		0.585	191.71	27.35	3,067.39
	Este		0.585	260.14	3.00	456.54
	Sur		0.585	260.14	27.35	4,162.14
Techo	Concreto Ligero de 4 in		0.213	515.07	23.90	2,622.08
Categoría	Descripción	Cant.	FCE	q_s (qs x n x FCE)	q_l (q_l x n)	Q (BTU/h)
Personas	Parado Trabajo ligero		1.00	325.00	315.00	0.00
	Sentado Trabajo Ligero	19.00	1.00	255.00	255.00	9,690.00
Categoría	Tipo	Cant. Tubos	FCE	FB	W (Por tubo)	Q (BTU/h)
Alumbrado	Lámpara Fluorescente	16.00	1.00	1.25	32.00	2,176.00
Categoría	Descripción	Cantidad	Potencia	Factor	HP	Q (BTU/h)
Equipos	Computadoras	19.00	250.00	3.41		16,197.50
	Motores	0.00			0.25	0.00
Categoría	Descripción	CFM	CT	W_e	W_i	Q (BTU/h)
Ventilación	Calor Sensible	190.00	22.00			4,598.00
	Calor Latente	190.00	22.00	95.00	77.00	2,325.60
TOTALES	**RTHG**	48,362.65	Factor	1.3		
	Carga de Enfriamiento	62,871.44	Toneladas	**5.24**		

Tabla 18. Carga de enfriamiento del aula 0216, Fuente: Elaboración Propia.

Aula	0218	Temp. Int.	72	Temp. Ext.	94	
Categoría	Descripción	Tipo	U	A (ft^2)	$DTCE_e$	Q (BTU/h)
Pared	Norte	Pared de Concreto Pesado + Acabado 4 In	0.585	198.82	27.35	3,180.99
	Oeste		0.585	198.82	3.00	348.92
	Este		0.585	340.18	27.35	5,442.80
	Sur		0.585	340.18	27.35	5,442.80
Techo	Concreto Ligero de 4 in		0.213	698.50	23.90	3,555.88
Categoría	Descripción	Cant.	FCE	q_s (qs x n x FCE)	q_l (q_l x n)	Q (BTU/h)
Personas	Parado Trabajo ligero		1.00	325.00	315.00	0.00
	Sentado Trabajo Ligero	30.00	1.00	255.00	255.00	15,300.00
Categoría	Tipo	Cant. Tubos	FCE	FB	W (Por tubo)	Q (BTU/h)
Alumbrado	Lámpara Fluorescente	20.00	1.00	1.25	32.00	2,720.00
Categoría	Descripción	Cantidad	Potencia	Factor	HP	Q (BTU/h)
Equipos	Computadoras	30.00	250.00	3.41		25,575.00
	Motores				0.25	0.00
Categoría	Descripción	CFM	CT	W_e	W_i	Q (BTU/h)
Ventilación	Calor Sensible	300.00	22.00			7,260.00
	Calor Latente	300.00	22.00	95.00	77.00	3,672.00
TOTALES	**RTHG**	72,498.40	Factor	1.3		
	Carga de Enfriamiento	94,247.92	Toneladas	**7.85**		

Tabla 19. Carga de enfriamiento del aula 0217, Fuente: Elaboración Propia.

Aula	0218	Temp. Int.	72	Temp. Ext.	94	
Categoría	Descripción	Tipo	U	A (ft^2)	$DTCE_e$	Q (BTU/h)
Pared	Norte	Pared de Concreto Pesado + Acabado 4 In	0.585	198.82	27.35	3,180.99
	Oeste		0.585	198.82	3.00	348.92
	Este		0.585	340.18	27.35	5,442.80
	Sur		0.585	340.18	27.35	5,442.80
Techo	Concreto Ligero de 4 in		0.213	698.50	23.90	3,555.88
Categoría	Descripción	Cant.	FCE	q_s (qs x n x FCE)	q_l (q_l x n)	Q (BTU/h)
Personas	Parado Trabajo ligero		1.00	325.00	315.00	0.00
	Sentado Trabajo Ligero	30.00	1.00	255.00	255.00	15,300.00
Categoría	Tipo	Cant. Tubos	FCE	FB	W (Por tubo)	Q (BTU/h)
Alumbrado	Lámpara Fluorescente	20.00	1.00	1.25	32.00	2,720.00
Categoría	Descripción	Cantidad	Potencia	Factor	HP	Q (BTU/h)
Equipos	Computadoras	30.00	250.00	3.41		25,575.00
	Motores				0.25	0.00
Categoría	Descripción	CFM	CT	W_e	W_i	Q (BTU/h)
Ventilación	Calor Sensible	300.00	22.00			7,260.00
	Calor Latente	300.00	22.00	95.00	77.00	3,672.00
TOTALES	**RTHG**	72,498.40	Factor	1.3		
	Carga de Enfriamiento	94,247.92	Toneladas	**7.85**		

Tabla 20. Carga de enfriamiento del aula 0218, Fuente: Elaboración Propia.

Aula	Cubículo I	Temp. Int.	72	Temp. Ext.	94	
Categoría	Descripción	Tipo	U	A (ft^2)	$DTCE_e$	Q (BTU/h)
Pared	Norte	Pared de Concreto Pesado + Acabado 4 In	0.585	93.28	3.00	163.70
	Oeste		0.585	93.28	3.00	163.70
	Este		0.585	89.40	3.00	156.90
	Sur		0.585	89.40	3.00	156.90
Techo	Concreto Ligero de 4 in		0.213	86.12	23.90	438.43
Categoría	Descripción	Cant.	FCE	q_s (qs x n x FCE)	q_l (q_l x n)	Q (BTU/h)
Personas	Parado Trabajo ligero		1.00	325.00	315.00	0.00
	Sentado Trabajo Ligero	4.00	1.00	255.00	255.00	2,040.00
Categoría	Tipo	Cant. Tubos	FCE	FB	W (Por tubo)	Q (BTU/h)
Alumbrado	Lámpara Fluorescente	2.00	1.00	1.25	32.00	272.00
Categoría	Descripción	Cantidad	Potencia	Factor	HP	Q (BTU/h)
Equipos	Computadoras	0.00	250.00	3.41		0.00
	Motores				0.25	0.00
Categoría	Descripción	CFM	CT	W_e	W_i	Q (BTU/h)
Ventilación	Calor Sensible	40.00	22.00			968.00
	Calor Latente	40.00	22.00	95.00	77.00	489.60
TOTALES	**RTHG**	4,849.23	Factor	1.3		
	Carga de Enfriamiento	6,304.00	Toneladas	**0.53**		

Tabla 21. Carga de enfriamiento del Cubículo 1, Fuente: Elaboración Propia

Aula	Cubículo II	Temp. Int.	72	Temp. Ext.	94	
Categoría	Descripción	Tipo	U	A (ft^2)	$DTCE_e$	Q (BTU/h)
Pared	Norte	Pared de Concreto Pesado + Acabado 4 In	0.585	93.28	3.00	163.70
	Oeste		0.585	93.28	3.00	163.70
	Este		0.585	89.40	3.00	156.90
	Sur		0.585	89.40	3.00	156.90
Techo	Concreto Ligero de 4 in		0.213	86.12	23.90	438.43
Categoría	Descripción	Cant.	FCE	q_s (qs x n x FCE)	q_l (q_l x n)	Q (BTU/h)
Personas	Parado Trabajo ligero		1.00	325.00	315.00	0.00
	Sentado Trabajo Ligero	4.00	1.00	255.00	255.00	2,040.00
Categoría	Tipo	Cant. Tubos	FCE	FB	W (Por tubo)	Q (BTU/h)
Alumbrado	Lámpara Fluorescente	2.00	1.00	1.25	32.00	272.00
Categoría	Descripción	Cantidad	Potencia	Factor	HP	Q (BTU/h)
Equipos	Computadoras	0.00	250.00	3.41		0.00
	Motores				0.25	0.00
Categoría	Descripción	CFM	CT	W_e	W_i	Q (BTU/h)
Ventilación	Calor Sensible	40.00	22.00			968.00
	Calor Latente	40.00	22.00	95.00	77.00	489.60
TOTALES	**RTHG**	4,849.23	Factor	1.3		
	Carga de Enfriamiento	6,304.00	Toneladas	**0.53**		

Tabla 22. Carga de enfriamiento del Cubículo 2, Fuente: Elaboración Propia.

Aula	Cubículo III	Temp. Int.	72	Temp. Ext.	94	
Categoría	Descripción	Tipo	U	A (ft^2)	$DTCE_e$	Q (BTU/h)
Pared	Norte	Pared de Concreto Pesado + Acabado 4 In	0.585	74.23	3.00	130.28
	Oeste		0.585	74.23	3.00	130.28
	Este		0.585	76.17	3.00	133.68
	Sur		0.585	76.17	3.00	133.68
Techo	Concreto Ligero de 4 in		0.213	58.40	23.90	297.28
Categoría	Descripción	Cant.	FCE	q_s (qs x n x FCE)	q_l (q_l x n)	Q (BTU/h)
Personas	Parado Trabajo ligero		1.00	325.00	315.00	0.00
	Sentado Trabajo Ligero	4.00	1.00	255.00	255.00	2,040.00
Categoría	Tipo	Cant. Tubos	FCE	FB	W (Por tubo)	Q (BTU/h)
Alumbrado	Lámpara Fluorescente	2.00	1.00	1.25	32.00	272.00
Categoría	Descripción	Cantidad	Potencia	Factor	HP	Q (BTU/h)
Equipos	Computadoras	0.00	250.00	3.41		0.00
	Motores				0.25	0.00
Categoría	Descripción	CFM	CT	W_e	W_i	Q (BTU/h)
Ventilación	Calor Sensible	40.00	22.00			968.00
	Calor Latente	40.00	22.00	95.00	77.00	489.60
TOTALES	**RTHG**	4,594.79	Factor	1.3		
	Carga de Enfriamiento	5,973.23	Toneladas	**0.50**		

Tabla 23. Carga de enfriamiento del Cubículo 3, Fuente: Elaboración Propia.

Aula	Cubículo IV	Temp. Int.	72	Temp. Ext.	94	
Categoría	Descripción	Tipo	U	A (ft^2)	$DTCE_e$	Q (BTU/h)
Pared	Norte	Pared de Concreto Pesado + Acabado 4 In	0.585	74.23	3.00	130.28
	Oeste		0.585	74.23	3.00	130.28
	Este		0.585	76.17	3.00	133.68
	Sur		0.585	76.17	3.00	133.68
Techo	Concreto Ligero de 4 in		0.213	58.40	23.90	297.28
Categoría	Descripción	Cant.	FCE	q_s (qs x n x FCE)	q_l (q_l x n)	Q (BTU/h)
Personas	Parado Trabajo ligero		1.00	325.00	315.00	0.00
	Sentado Trabajo Ligero	4.00	1.00	255.00	255.00	2,040.00
Categoría	Tipo	Cant. Tubos	FCE	FB	W (Por tubo)	Q (BTU/h)
Alumbrado	Lámpara Fluorescente	2.00	1.00	1.25	32.00	272.00
Categoría	Descripción	Cantidad	Potencia	Factor	HP	Q (BTU/h)
Equipos	Computadoras	0.00	250.00	3.41		0.00
	Motores				0.25	0.00
Categoría	Descripción	CFM	CT	W_e	W_i	Q (BTU/h)
Ventilación	Calor Sensible	40.00	22.00			968.00
	Calor Latente	40.00	22.00	95.00	77.00	489.60
TOTALES	**RTHG**	4,594.79	Factor	1.3		
	Carga de Enfriamiento	5,973.23	Toneladas	**0.50**		

Tabla 24. Carga de enfriamiento del Cubículo 4, Fuente: Elaboración Propia.

Aula	Habitación de TI	Temp. Int.	72	Temp. Ext.	94	
Categoría	Descripción	Tipo	U	A (ft^2)	$DTCE_e$	Q (BTU/h)
Pared	Norte	Pared de Concreto Pesado + Acabado 4 In	0.585	59.06	3.00	103.66
	Oeste		0.585	191.07	3.00	335.33
	Este		0.585	191.07	3.00	335.33
	Sur		0.585	59.06	27.35	945.00
Techo	Concreto Ligero de 4 in		0.213	116.55	23.90	593.33
Categoría	Descripción	Cant.	FCE	q_s (qs x n x FCE)	q_l (q_l x n)	Q (BTU/h)
Personas	Parado Trabajo ligero	0.00	1.00	325.00	315.00	0.00
	Sentado Trabajo Ligero	4.00	1.00	255.00	255.00	2,040.00
Categoría	Tipo	Cant. Tubos	FCE	FB	W (Por tubo)	Q (BTU/h)
Alumbrado	Lámpara Fluorescente	2.00	1.00	1.25	32.00	272.00
Categoría	Descripción	Cantidad	Potencia	Factor	HP	Q (BTU/h)
Equipos	Computadoras	4.00	250.00	3.41		3,410.00
	Motores	0.00			0.25	0.00
Categoría	Descripción	CFM	CT	W_e	W_i	Q (BTU/h)
Ventilación	Calor Sensible	40.00	22.00			968.00
	Calor Latente	40.00	22.00	95.00	77.00	489.60
TOTALES	**RTHG**	9,492.24	Factor	1.3		
	Carga de Enfriamiento	12,339.92	Toneladas	**1.03**		

Tabla 25. Carga de enfriamiento del Cubículo 4, Fuente: Elaboración Propia.

A continuación, una tabla resumen con la carga frigorífica necesaria para todo el Edificio II de la Universidad APEC, separado por los elementos que puedan producir calor y que es necesario disipar.

Temp. Int.	72	Temp. Ext.	94	
Categoría	Descripción	Tipo	A (ft^2)	Q (BTU/h)
Pared	Paredes + techo	Pared de Concreto Pesado + Acabado 4 In	27,646.98	211,109.12
Categoría	Descripción	Cant.	FCE	Q (BTU/h)
Personas	Parado + Sentado Trabajo ligero	411.00	1.00	215,550.00
Categoría	Tipo	Cant. Tubos	W (Por tubo)	Q (BTU/h)
Alumbrado	Lámpara Fluorescente	214.00	32.00	29,376.00
Categoría	Descripción	Cantidad	Potencia	Q (BTU/h)
Equipos	Computadoras	263.00	250.00 W	227,617.50
	Motores	10.00	0.25 HP	2,500.00
Categoría	Descripción	CFM	CT	Q (BTU/h)
Ventilación	Calor Sensible	4,110.00	22.00	99,462.00
	Calor Latente	4,110.00	22.00	50,306.40
TOTALES	**RTHG**	**835,921.02**	**Factor**	**1.3**
	Carga de Enfriamiento	**1,086,697.33**	**Toneladas**	**90.56**

Tabla 26. Carga de enfriamiento del Edificio II, Fuente: Elaboración Propia.

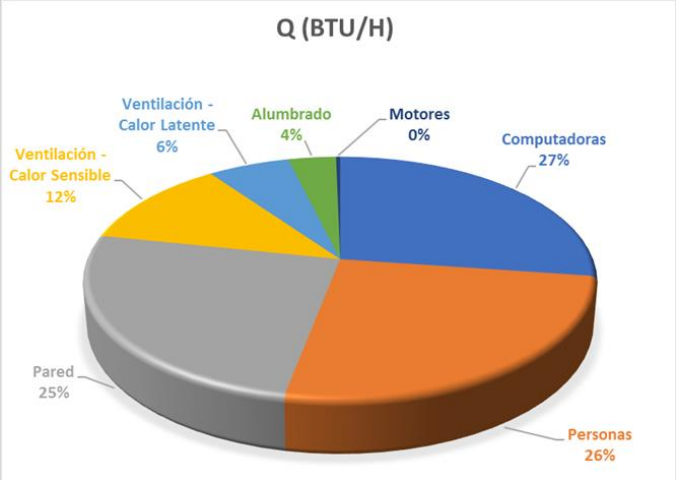


Ilustración 21. Porcentaje de ganancia de calor del Edificio II (BTU/H), Fuente: Elaboración Propia.

En el grafico anterior se aprecia la cantidad de calor que produce cada elemento, y cuál es su impacto en la carga de enfriamiento total que se necesita disipar, en porcentajes. Si los colocamos en orden el impacto sería como se ve en la tabla siguiente.

Categoría	Q (BTU/h)	Porcentaje
Computadoras	227617.50	27.23%
Personas	215550.00	25.79%
Pared	211109.12	25.25%
Ventilación - Calor Sensible	99462.00	11.90%
Ventilación - Calor Latente	50306.40	6.02%
Alumbrado	29376.00	3.51%
Motores	2500.00	0.30%

Tabla 27. Ganancia de calor por equipos, Fuente: Elaboración Propia.

2.12. Potencia total instalada en el Edificio II de la Universidad APEC

Para calcular la potencia instalada en el Edificio II de la Universidad APEC, realizamos un levantamiento de los equipos eléctricos que contienen las Aulas, Baños y Pasillos.

En este levantamiento pudimos destacar como elementos comunes:

- Tomas de Corriente (TC) Normales, que llevan una tensión de 120V y por regla general se estima una potencia de 200 W para cada uno en el cálculo.

- Tomas de Corriente (TC) a UPS, que llevan una tensión de 120V y por regla general se estima una potencia de 200 W para cada uno. Estos están conectados a un UPS y se utilizan para proteger equipos electrónicos que son sensibles a los cambios buscos y/o cortes de energía.

  "Un Sistema de Alimentación Ininterrumpida (SAI), en inglés Uninterruptible Power Supply (UPS), es un dispositivo que, gracias a sus baterías u otros elementos almacenadores de energía, puede proporcionar energía eléctrica por un tiempo limitado y durante un apagón eléctrico a todos los dispositivos que tenga conectados. Otras de las funciones que se pueden adicionar a estos equipos es la de mejorar la calidad de la energía eléctrica que llega a las cargas, filtrando subidas y bajadas de tensión y eliminando armónicos de la red en el caso de usar corriente alterna.

  Fuente: (Wikipedia®, 2017)*"*

- Luminarias a 120 V, estas continente 2 lamparas tipo tubo fluorescentes de 32 W. Para fines de cálculos es preferible asumir una potencia de 100 W por salida de luminarias, para asegurar la integridad de la instalación ante cualquier cambio.

- Evaporadora, es la unidad interior. Ésta se encarga de tomar el refrigerante y cambia su estado de líquido a vapor (evaporar), y esta brusca expansión del mismo reduce su temperatura. Para fines de cálculo se estima un consumo de 100 W para cada uno, si es VRF.

- Condensadora, es la unidad exterior. Esta toma el gas que sale de la evaporadora a una alta presión y cede el calor que absorbió de ella, intercambiándolo con el aire y el agua, con cualquier otro fluido o el medio ambiente, para desecharlo. Para esto el refrigerante pasa de vapor a líquido saturado (sub-enfriado), de manera que se mantenga siempre liquido en su camino al evaporador. Para esta se estima 1500 W por cada Tonelada, esto debido a que es un sistema obsoleto.

La tabla a continuación muestra los valores de potencia según los equipos eléctricos para cada área, en la misma se puede ver la suma total de potencia para cada tipo de equipo, suma total de potencia para cada nivel y la suma total del Edificio II.

	TC Normal	TC UPS	Lampara fluorecente	Evaporadora	Condensadora
Aula 0201	1,200.00	1,200.00	400.00	0.00	7,500.00
Aula 0202	1,800.00	400.00	400.00	0.00	7,500.00
Aula 0203	2,800.00	1,400.00	400.00	0.00	7,500.00
Aula 0204	2,400.00	1,400.00	400.00	0.00	7,500.00
Aula 0205	400.00	1,400.00	400.00	0.00	3,000.00
Aula 0206	2,000.00	400.00	400.00	0.00	4,500.00
Baños (h+m)	200.00	0.00	100.00	0.00	0.00
Pasillos	200.00	0.00	100.00	0.00	0.00
Suma de Pot.	**11,000.00**	**6,200.00**	**2,600.00**	**0.00**	**37,500.00**
				Potencia Nivel 1	**57,300.00**

	TC Normal	TC UPS	Lampara fluorecente	Evaporadora	Condensadora
Aula 0207	1,600.00	3,600.00	400.00	0.00	4,500.00
Aula 0208	1,000.00	5,000.00	400.00	0.00	4,500.00
Aula 0209	0.00	5,200.00	400.00	0.00	4,500.00
Aula 0210	800.00	3,200.00	400.00	0.00	4,500.00
Aula 0211	600.00	5,800.00	400.00	0.00	13,500.00
Aula 0212	4,200.00	1,200.00	700.00	0.00	7,500.00
Cubículos	800.00	0.00	400.00	0.00	7,500.00
Pasillos	200.00	0.00	100.00	0.00	0.00
Suma de Pot.	**9,200.00**	**24,000.00**	**3,200.00**	**0.00**	**46,500.00**
				Potencia Nivel 2	**82,900.00**

	TC Normal	TC UPS	Lampara fluorecente	Evaporadora	Condensadora
Aula 0213	1,200.00	4,800.00	1,000.00	0.00	9,000.00
Aula 0214	4,600.00	200.00	800.00	0.00	7,500.00
Aula 0215	2,400.00	3,800.00	800.00	0.00	9,750.00
Aula 0216	2,200.00	4,400.00	800.00	0.00	7,500.00
Aula 0217	1,400.00	6,400.00	800.00	0.00	7,500.00
Aula 0218	1,800.00	7,400.00	1,000.00	0.00	9,000.00
Hab. de TI	600.00	1,800.00	100.00	0.00	3,000.00
Baños (h+m)	200.00	0.00	100.00	0.00	0.00
Pasillos	200.00	0.00	100.00	0.00	0.00
Suma de Pot.	**14,600.00**	**28,800.00**	**5,500.00**	**0.00**	**53,250.00**
				Potencia Nivel 3	**102,150.00**

	TC Normal	TC UPS	Lampara fluorecente	Evaporadora	Condensadora
Suma Total de pot.	**34,800.00**	**59,000.00**	**11,300.00**	**0.00**	**137,250.00**
				Potencia Total Edif. II	**242,350.00**

Tabla 28. Potencia Instalada según tipo de equipo en el Edificio II de la Universidad APEC, Fuente: Elaboración Propia

Si se lleva estos números a un gráfico de pastel, se puede ver en porcentajes cuál tipo de equipo representa el mayor número en potencia instalada. Claramente se puede observar que las condensadoras de los sistemas de acondicionadores de Aires suman el mayor número en potencia instalada.

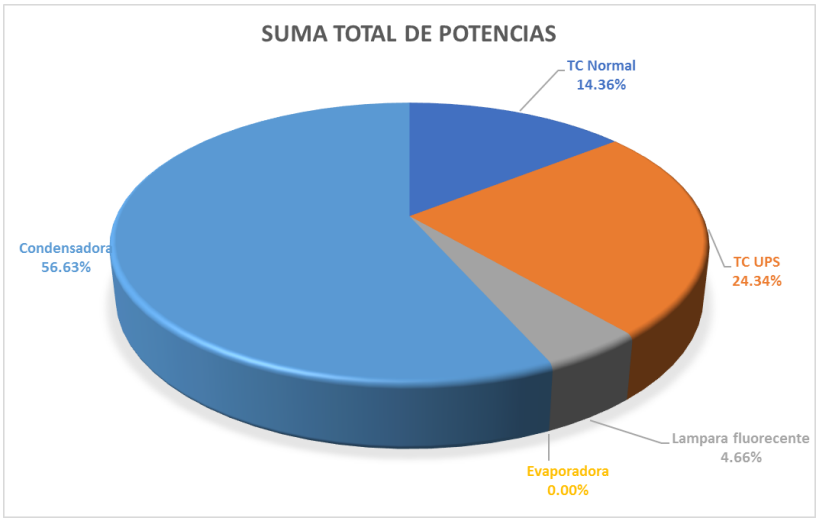


Ilustración 22. Gráfico de potencia Instalada según tipo de equipo en el Edificio II, Fuente: Elaboración Propia

2.12.1. Comparación de las Toneladas de Refrigeración instaladas versus las Toneladas de Refrigeración necesarias

Para comparar la cantidad de toneladas necesarias para cada Aula con relación a la instalada se tiene la siguiente tabla. El color amarillo representa la cantidad de toneladas sobre lo necesario que tiene determinada Aula, mientras que el color rojo representa la cantidad de toneladas que le falta a cada aula para alcanzar el valor necesario.

Cabe destacar que, para la comparación se toma el valor calculado de toneladas necesarias. Esto puede variar dependiendo de los valores comerciales más cercanos a los valores calculados.

	Toneladas Instaladas	Toneladas Necesarias	Diferencia
Aula 0201	5	4.02 Tons	0.98
Aula 0202	5	4.08 Tons	0.92
Aula 0203	5	3.38 Tons	1.62
Aula 0204	5	4.02 Tons	0.98
Aula 0205	2	3.54 Tons	-1.54
Aula 0206	3	3.95 Tons	-0.95
Aula 0207	3	4.15 Tons	-1.15
Aula 0208	3	4.26 Tons	-1.26
Aula 0209	3	4.13 Tons	-1.13
Aula 0210	3	3.65 Tons	-0.65
Aula 0211	9	6.61 Tons	2.39
Aula 0212	5	6.47 Tons	-1.47
Aula 0213	6	6.14 Tons	-0.14
Aula 0214	5	3.82 Tons	1.18
Aula 0215	6.5	5.34 Tons	1.16
Aula 0216	5	5.24 Tons	-0.24
Aula 0217	5	7.00 Tons	-2.00
Aula 0218	6	7.85 Tons	-1.85
Habit. De TI	2	1.03 Tons	0.97
Cubículo I	1.25	0.53 Tons	0.72
Cubículo II	1.15	0.53 Tons	0.62
Cubículo III	1.25	0.50 Tons	0.75
Cubículo IV	1.25	0.50 Tons	0.75
	91.4	**90.72**	**0.68**

Tabla 29. Comparación entre las Toneladas instaladas y las necesarias, Fuente: Elaboración Propia.

En total existe una deficiencia de 0.68 toneladas, es decir que, viéndolo desde la potencia total instalada de toneladas, el sistema actual cumple con las toneladas necesarias. Sin embargo, podemos notar aulas que no están bien dimensionadas, con una diferencia de hasta 2.39 toneladas con relación a las necesarias. Lo que quiere decir que, aunque la potencia total está bien dimensionada, la distribución de esta potencia no.

2.13. Facturación Eléctrica del Campus II de la Universidad APEC

La Resolución SIE-062-2017-TF de la Superintendencia de Electricidad de la República Dominicana Establece el Cuadro Tarifario de la factura eléctrica. En este caso se utilizará hasta la fecha actual que es el mes de octubre 2017.

SUPERINTENDENCIA DE ELECTRICIDAD
"Garantía de todos"

SUPERINTENDENCIA DE ELECTRICIDAD

ARTÍCULO 1: ESTABLECER el Cuadro Tarifario del mes de Noviembre 2017 correspondiente a las empresas EDESUR, EDEESTE y EDENORTE para los USUARIOS DEL SERVICIO PÚBLICO DE DISTRIBUCIÓN DE ELECTRICIDAD servidos desde circuitos interconectados al SENI; en este cuadro se establecen: (i) Las Tarifas Indexadas para el mes de Noviembre de 2017; y, (ii) Las Tarifas a ser Aplicadas a dichos usuarios en las facturas que se emitan entre el día primero (1°) y el día treinta (30) del mes de Noviembre de 2017:

		TARIFA BASE	MES NOVIEMBRE - 2017		
TARIFA	CONCEPTO	SEPTIEMBRE 2003	TARIFAS INDEXADAS (RD$)	TARIFAS A APLICAR A USUARIOS (RD$)	% SUBSIDIO FETE
BTS1	**Cargo Fijo por Rangos de Consumo:**				
	(i) Consumo mensual de 0 hasta 100 kWh	20.76	37.34	**37.95**	-1.63%
	(ii) Consumo mensual de 101 kWh en adelante	75.07	135.03	**137.25**	-1.64%
	Cargos por Energía:				
	(i) Los primeros kWh entre 0 y 200	5.04	9.07	**4.44**	51.04%
	(ii) Los siguientes kWh entre 201 y 300	5.04	9.07	**6.97**	23.16%
	(iii) Los siguientes kWh entre 301 y 700	6.21	11.17	**10.86**	2.73%
	(iv) Consumo de 701 kWh o mayor, todos los kWh a	6.21	11.17	**11.10**	0.63%
BTS2	**Cargo Fijo**	51.11	91.93	**137.67**	-49.75%
	Cargos por Energía:				
	(i) Los primeros kWh entre 0 y 200	5.04	9.07	**5.97**	34.12%
	(ii) Los siguientes kWh entre 201 y 300	5.04	9.07	**8.62**	4.93%
	(iii) Los siguientes kWh entre 301 y 700	6.21	11.17	**11.30**	-1.13%
	(iv) Consumo de 701 kWh o mayor, todos los kWh a	6.21	11.17	**11.49**	-2.86%
BTD	**Cargo Fijo**	117.87	212.02	**224.53**	-5.90%
	Energía	4.03	7.25	**7.37**	-1.61%
	Potencia Máxima	543.68	977.93	**993.99**	-1.64%
BTH	**Cargo Fijo**	89.88	161.67	**224.53**	-38.88%
	Energía	3.96	7.12	**7.26**	-1.89%
	Potencia Máxima fuera de punta	138.57	249.25	**253.35**	-1.64%
	Potencia Máxima en horas de punta	772.73	1,389.93	**1,412.74**	-1.64%
MTD1	**Cargo Fijo**	117.87	212.02	**224.53**	-5.90%
	Energía	4.03	7.25	**7.81**	-7.72%
	Potencia Máxima	229.65	413.08	**485.98**	-17.65%
MTD2	**Cargo Fijo**	117.87	212.02	**224.53**	-5.90%
	Energía	4.03	7.25	**7.38**	-1.76%
	Potencia Máxima	170.26	306.25	**340.39**	-11.15%
MTH	**Cargo Fijo**	89.88	161.67	**224.53**	-38.88%
	Energía	3.96	7.12	**7.26**	-1.89%
	Potencia Máxima fuera de punta	53.23	95.75	**97.33**	-1.65%
	Potencia Máxima en horas de punta	538.9	969.34	**985.26**	-1.64%

Párrafo I: Las Tarifas Indexadas fueron calculadas aplicando los siguientes valores: (i) CPI =246.819; (ii) Tasa de Cambio = RD$47.9291 por US$ (promedio del 21 de septiembre al 23 de octubre del 2017, publicada por el Banco Central al 25 de octubre); (iii) USGC HSFO - 3.5% Sulfur = US$48.7880/bbl; (iv) Precio Carbón Mineral = US$74.79/ton, correspondiente al primer semestre del año 2017; (v) Precio Gas Natural = US$2.8946/MMBTU;(vi) Índice de Cobranza = 0.810; (vii) Participaciones combustibles en generación del SENI aplicadas, corresponden a promedios del período febrero - agosto de 2014: PF = 42.80%; PC = 18.56%; PGN = 38.64%.

Ilustración 23. Cuadro Tarifario SIE, Fuente: Resolución SIE-069-2017-TF.

En el país los clientes regulados están sometidos a diferentes tipos de facturación los cuales son determinados por el voltaje al que están conectados a las redes de distribución y la demanda máxima o energía consumida en un mes. Los clientes pueden elegir libremente cualquiera de las opciones tarifarias, siempre y cuando cumplan con las condiciones establecidas para cada caso y estén dentro del nivel de tensión que les corresponda. Las Empresas de distribución están obligados a aceptar la opción tarifaria que los clientes elijan.

Esta tarifa está definida para los clientes en media tensión, es decir, aquellos que están conectados a redes a un nivel de tensión inferior a 34,500 Voltios y superior o igual a los 1,000 voltios, y sólo podrán optar por las tarifas de media tensión, aquellos clientes cuyos suministros estén interconectados en media tensión y cuya potencia conectada sea igual o mayor a 50 KVA para suministros monofásicos, y de 75 KVA para suministros trifásicos. En ambos casos, el cliente deberá contratar con la Empresa de Distribución, como mínimo, el 60% de la potencia conectada. La tarifa MTD-1 se les aplicará a los usuarios residenciales y comerciales interconectados en media tensión.

Los cargos aplicables al tipo de tarifa MTD-1 son los siguientes:

a) ***Cargo fijo mensual***. El valor correspondiente se aplicará incluso si el consumo del cliente es nulo.

b) ***Cargo por energía.*** Se obtendrá multiplicando los kilowatts-hora de consumo de energía por su precio unitario.

c) ***Cargo por potencia máxima***. Se obtendrá multiplicando la potencia máxima del cliente en kilowatt por su precio unitario y se aplicará incluso si el consumo de energía es nulo.

Fuente: (ADIE - Asociación Dominicana de la Industria Eléctrica, 2015)

El Campus II de la Universidad APEC tiene contratada una facturación eléctrica con una tarifa de Media Tensión con Demanda 1 (MTD-1). Según la tabla pasada, tiene un costo por cargo fijo de RD$224.53 más un costo por energía de RD$7.38 por cada kWh y un costo por potencia máxima de RD$485.98 por cada kW.

NIS: 6003060
DIRECCIÓN DEL SUMINISTRO
AVDA 27 DE FEBRERO 569
LOC.: LOS RESTAURADORES
REF.: ESQUINA MANGANAGUA

UNIVERSIDAD APEC
RNC - CÉDULA: 401005107

NIC
6003060

DATOS DEL CONTRATO

TARIFA	VOLTAJE	POTENCIA CONTRATADA	PERÍODO DE FACTURACIÓN
MTD1	Alta 12.5 kV	10 kW	01/05/2017 - 01/06/2017 = 31 Días

Ilustración 24. Información de contrato de energía eléctrica, Fuente: Facturación Eléctrica Universidad APEC, 2017.

2.13.1. Consumo Energético y Potencia Máxima registrada

A continuación, una recopilación del consumo energético registrado en la facturación del Campus II de la Universidad APEC y la Potencia máxima registrada en cada mes. Para su realización se tomó información de la facturación eléctrica enviada por la Empresa Distribuidora de Electricidad del Sur (Edesur) a la Universidad APEC desde enero a octubre del año 2017.

Mes	Energia	Potencia
Jan-16	23,400.00	187.26
Feb-16	33,960.00	165.24
Mar-16	43,560.00	167.76
Apr-16	41,040.00	169.08
May-16	37,680.00	178.56
Jun-16	40,920.00	176.76
Jul-16	40,320.00	179.88
Aug-16	34,680.00	169.44
Sep-16	34,440.00	168.12
Oct-16	48,840.00	194.64
Nov-16	46,320.00	178.20
Dec-16	44,280.00	168.36
Jan-17	23,400.00	149.04
Feb-17	29,880.00	141.84
Mar-17	38,760.00	152.04
Apr-17	43,560.00	158.64
May-17	35,520.00	163.92
Jun-17	47,760.00	168.24
Jul-17	42,480.00	156.60
Aug-17	39,360.00	176.64
Sep-17	37,800.00	185.40
Oct-17	41,160.00	183.84

Tabla 30. Energía consumida y Potencia Máxima registrada, Fuente: Facturación Eléctrica Universidad APEC, 2017.

La siguiente imagen es la representación gráfica de la tabla pasada. En esta se puede observar la variación del consumo en el tiempo. Claramente se puede destacar que en los meses en los que se ha consumido más energía han sido entre Marzo - Abril, Junio - Julio y los meses próximos a Navidad. No se sigue un patrón exacto de valores de consumo, pero sí de aumento y disminución. La potencia por su parte se mantiene estable casi en la mayoría de los meses, excepto, en los meses cercanos a Navidad, que presenta un ligero pico.

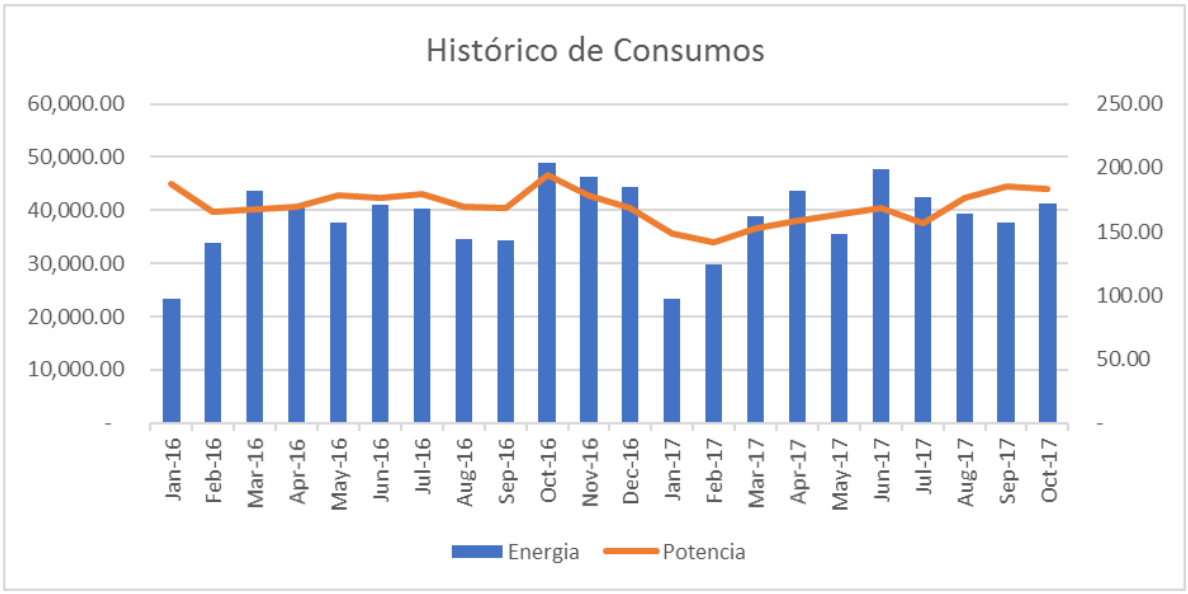


Ilustración 25. Gráfico de la variación de la Energía consumida y Potencia Máxima registrada, Fuente: Facturación Eléctrica Universidad APEC, 2017.

En la facturación existe una relación del consumo de Energía y la Potencia Máxima registrada, pero no necesariamente tiene que ser proporcional una a la otra, y esto tiene explicación en la manera que se recopilan y calculan ambas variables. Existe un medidor eléctrico de potencia colocado por Edesur, el cual toma información de la potencia que se registra cada 15 minutos. Esta información se utiliza para detectar la Potencia Máxima en kW (Kilo Watt).

2.13.2. Cálculo Monetario de Energía Eléctrica Mensual

En la Facturación Eléctrica, para el cobro de la Potencia Máxima no necesariamente se toma la registrada en ese mes, sino que se calcula el promedio de las dos potencias máximas más altas registradas en un año, sin incluir la registrada ese mes. Esto siempre y cuando la última potencia máxima registrada (la de ese mes) sea menor que este promedio, si es mayor, se cobra en base a la última potencia máxima. Es por lo que la Potencia Máxima que se cobra en algunos meses no coincide con la Potencia Máxima registra en ese mes.

Para la Energía se mide de forma continua cada 15 minutos y luego se realiza una equivalencia a horas y se suma durante un mes.

		Consumido	Tarifa	Costo
Enero 2017	Cargo fijo	31 días	RD$224.53	RD$224.53
	Energía	23,400.00 kWh	RD$7.81	RD$182,754.00
	Potencia máxima	187.26 kW	RD$485.98	RD$91,004.61
			Costo Total:	RD$273,983.14

		Consumido	Tarifa	Costo
Febrero 2017	Cargo fijo	30 días	RD$224.53	RD$224.53
	Energía	29,880.00 kWh	RD$7.81	RD$233,362.80
	Potencia máxima	187.26 kW	RD$485.98	RD$91,004.61
			Costo Total:	RD$324,591.94

		Consumido	Tarifa	Costo
Marzo 2017	Cargo fijo	29 días	RD$224.53	RD$224.53
	Energía	38,760.00 kWh	RD$7.81	RD$302,715.60
	Potencia máxima	187.26 kW	RD$485.98	RD$91,004.61
			Costo Total:	RD$393,944.74

		Consumido	Tarifa	Costo
Abril 2017	Cargo fijo	29 días	RD$224.53	RD$224.53
	Energía	43,560.00 kWh	RD$7.81	RD$340,203.60
	Potencia máxima	187.26 kW	RD$485.98	RD$91,004.61
			Costo Total:	RD$431,432.74

		Consumido	Tarifa	Costo
Mayo 2017	Cargo fijo	31 días	RD$224.53	RD$224.53
	Energía	35,520.00 kWh	RD$7.81	RD$277,411.20
	Potencia máxima	187.26 kW	RD$485.98	RD$91,004.61
			Costo Total:	RD$368,640.34

		Consumido	Tarifa	Costo
Junio 2017	Cargo fijo	31 días	RD$224.53	RD$224.53
	Energía	47,760.00 kWh	RD$7.81	RD$373,005.60
	Potencia máxima	187.26 kW	RD$485.98	RD$91,004.61
			Costo Total:	RD$464,234.74

		Consumido	Tarifa	Costo
Julio 2017	Cargo fijo	30 días	RD$224.53	RD$224.53
	Energía	42,480.00 kWh	RD$7.81	RD$331,768.80
	Potencia máxima	187.26 kW	RD$485.98	RD$91,004.61
			Costo Total:	RD$422,997.94

		Consumido	Tarifa	Costo
Agosto 2017	Cargo fijo	30 días	RD$224.53	RD$224.53
	Energía	39,360.00 kWh	RD$7.81	RD$307,401.60
	Potencia máxima	186.42 kW	RD$485.98	RD$90,596.39
			Costo Total:	RD$398,222.52

		Consumido	Tarifa	Costo
Septiembre 2017	Cargo fijo	30 días	RD$224.53	RD$224.53
	Energía	37,800.00 kWh	RD$7.81	RD$295,218.00
	Potencia máxima	186.42 kW	RD$485.98	RD$90,596.39
			Costo Total:	RD$386,038.92

		Consumido	Tarifa	Costo
Octubre 2017	Cargo fijo	30 días	RD$224.53	RD$224.53
	Energía	39,360.00 kWh	RD$7.81	RD$307,401.60
	Potencia máxima	190.02 kW	RD$485.98	RD$92,345.92
			Costo Total:	RD$399,972.05

Tabla 31. Calculo monetario de la facturación eléctrica de la Universidad APEC, Fuente: Facturación Eléctrica Universidad APEC, 2017.

La siguiente tabla es un resumen de la Energía, Potencia Máxima y Costo de facturación en los meses enero a octubre del año 2017.

Mes	Energia	Potencia	Costo
Jan-16	23,400.00 kWh	187.26 kW	RD$273,983.14
Feb-16	33,960.00 kWh	165.24 kW	RD$324,591.94
Mar-16	43,560.00 kWh	167.76 kW	RD$393,944.74
Apr-16	41,040.00 kWh	169.08 kW	RD$431,432.74
May-16	37,680.00 kWh	178.56 kW	RD$368,640.34
Jun-16	40,920.00 kWh	176.76 kW	RD$464,234.74
Jul-16	40,320.00 kWh	179.88 kW	RD$422,997.94
Aug-16	34,680.00 kWh	169.44 kW	RD$398,222.52
Sep-16	34,440.00 kWh	168.12 kW	RD$386,038.92
Oct-16	48,840.00 kWh	194.64 kW	RD$399,972.05

Tabla 32. Resumen de la facturación eléctrica de la Universidad APEC Fuente: Facturación Eléctrica Universidad APEC, 2017.

Esta es la representación gráfica de la tabla pasada en la que se relaciona el Consumo energético y el Costo de la Facturación. Podemos observar que el costo de la facturación está relacionado con el consumo eléctrico, pero no de manera proporcional. Esto es porque la Potencia Máxima registrada tiene un papel importante e influye también en el costo.

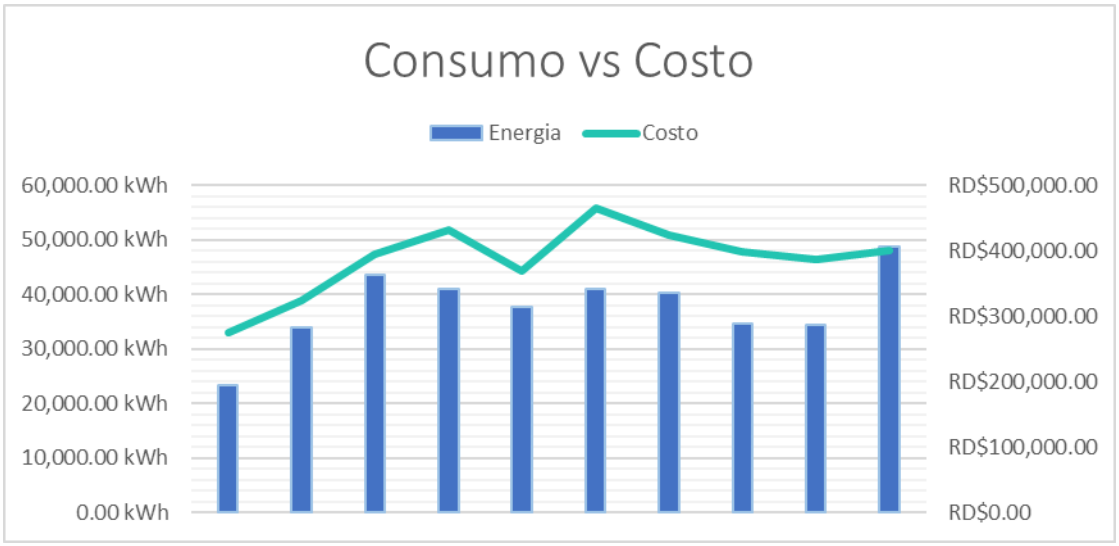


Ilustración 26. Gráfico de la variación de la Energía consumida con relación al Costo de la facturación, Fuente: Facturación Eléctrica Universidad APEC, 2017.

Cabe recordar que el Campus II de la Universidad APEC tiene una Potencia Contratada de 10 kW (ver ilustración 23), con una facturación MTD-1. Esto significa que la Potencia Máxima que tiene permitido registrar en algún punto del mes de 10 kW, de lo contrario, se le cobrará penalidad en la facturación que, dada la manera en que se calcula la Potencia Máxima para el cobro de la facturación, la nueva potencia tendrá validez durante un año.

Es por esto que es necesario tomar en cuenta la potencia instalada actual y siempre que se vaya a realizar algún cambio en la instalación eléctrica, de manera que el mismo no afecte la Factura Eléctrica y evaluar si es necesario aumentar la Potencia Contratada. Aunque en la mayoría de los casos la distribuidora no pone esto en práctica, sino que se conforma con el cálculo arrojado del promedio de las dos potencias máximas en un año.

En el siguiente Capítulo se compara energía actual y la incidencia en caso de instalar los nuevos equipos, además del ahorro energético y monetario en el pago de la facturación.

CAPÍTULO III: PROPUESTA TECNICO ECONÓMICA Y PROYECCIÓN FINANCIERA

3.1. Informe general técnico del sistema propuesto

3.1.1. Descripción de los equipos y componentes utilizados

Condensadoras

Las condensadoras Lennox presentan un diseño inteligente, diseñada para ahorrar energía, incrementar la comodidad y extender la vida del equipo.

El diseño flexible del sistema permite conectar varias condensadoras en forma modular, en caso de ser necesario aumentar la potencia total del sistema. Es una característica beneficiosa, ya que esto disminuye costos en la instalación.

1) Los VRF de la marca Lennox sólo utilizan compresores DC con controladores de tecnología inverter, para maximizar la eficiencia y longevidad del sistema.

2) Motores DC altamente eficientes alimentan los ventiladores de la unidad de condensación, con 18 velocidades diferentes para un control de flujo de aire preciso y una mayor eficiencia que los motores de CA estándar.

3) Un diseño asimétrico de álabe de ventilador especialmente diseñado para optimizar el flujo de aire mientras reduce el ruido. Los VRF Lennox también utilizan hojas de ventilador diferentes para eliminar el "pulso" en fase y minimizar los niveles de sonido.

4) Permite un acceso rápido y fácil a tuberías y válvulas para un servicio más rápido y solución de problemas.

5) Ciclo de Descongelamiento Avanzado. Los sistemas de recuperación de calor en la línea Lennox VRF utilizan un ciclo de descongelación de bobina dividida que permite que el sistema proporcione calor incluso cuando se descongela. Los sistemas de bomba de calor utilizan un descargador acelerado de bobina completa que puede durar tan solo cuatro minutos.

6) Tubo de cobre rayado. Funciona con aletas hidrofílicas para mayor transferencia de calor, eficiencia y rendimiento.

Ver fichas técnicas de los modelos utilizados en el apartado de ***Anexos y Apéndices***.

Evaporadoras

Cada unidad interior de los sistemas VRF de la marca Lennox contienen funciones inteligentes para aumentar la eficiencia y la funcionalidad:

- Se reinicia automáticamente luego de una falla de potencia.
- Las unidades interiores funcionan con mayor control de la humedad y comodidad.
- Filtro lavable que ayuda a preservar la calidad del aire interior al tiempo que reduce el desperdicio.
- Panel lavable que mantiene la apariencia aseada y limpia.
- Función de precalentamiento que evita que el aire circule durante el modo de calefacción hasta que la bobina interior se haya calentado lo suficiente.
- Encendido / apagado remoto que brinda conveniencia y ahorro de energía.
- Estado de error Alerta al usuario si se detecta una falla o si se necesita mantenimiento.

Ver fichas técnicas de los modelos utilizados en el apartado de ***Anexos y Apéndices***.

Refrigerante

El refrigerante utilizado es el R410A. Este es un refrigerante amigable con el ambiente debido a que, a diferencia de los refrigerantes convencionales que contienen cloro y bromo, el R-410A, que solo contiene flúor, no contribuye a la reducción de la capa de ozono y por ello se utiliza ampliamente.

3.1.2. Planos y diagramas

A continuación, un plano con la distribución e interconexión de los equipos utilizados en el Edificio II. Este consiste en una corrida de las tuberías mecánicas, la manera en que se distribuye el refrigerante desde las condensadoras hasta las evaporadoras conectadas. Así mismo el retorno del aire caliente extraído de cada Aula.

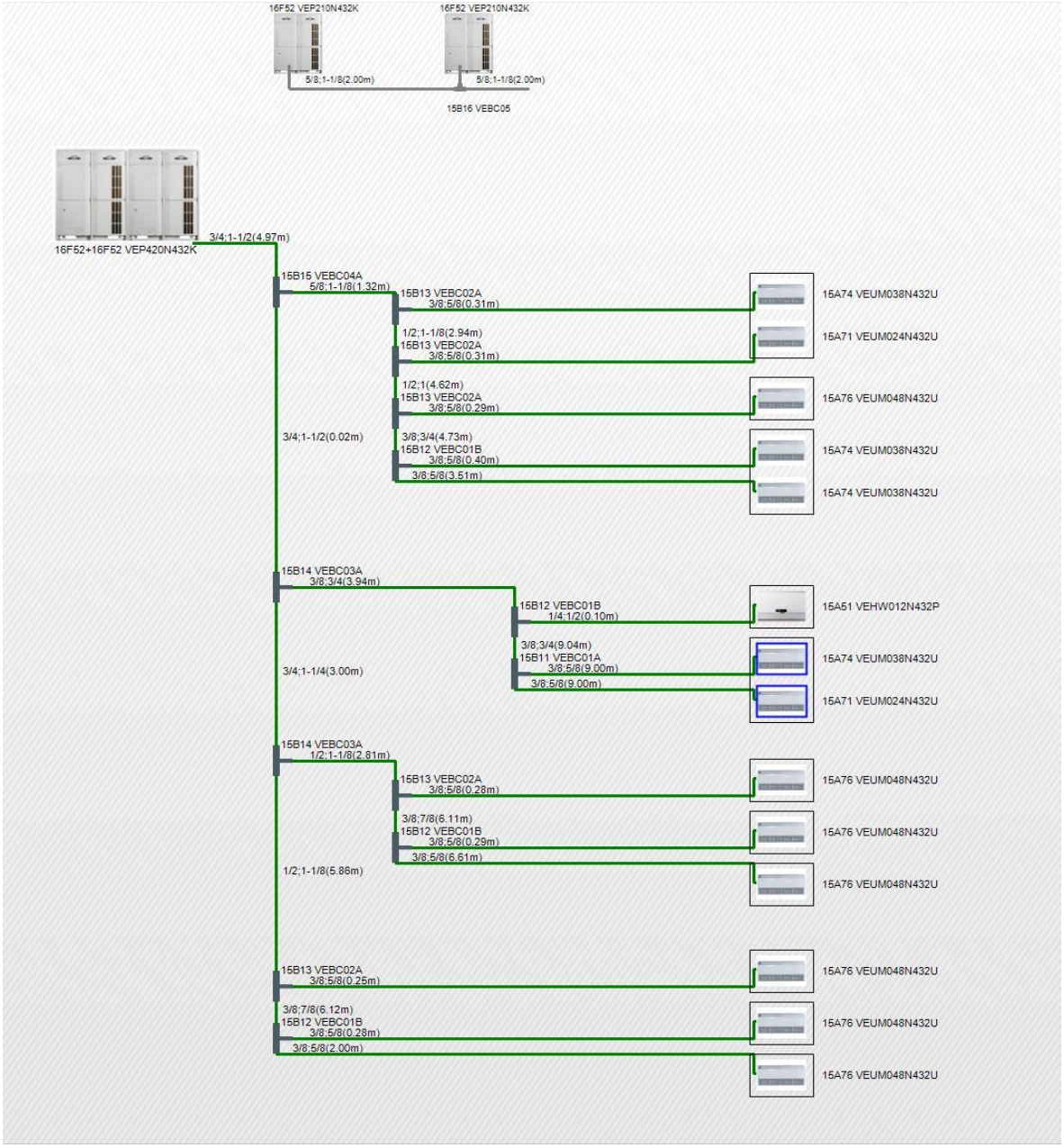


Ilustración 27. Unifilar de distribución unidades exteriores e interiores del Sistema I. Fuente: Diseño propio en VRF Selector Lennox ®.

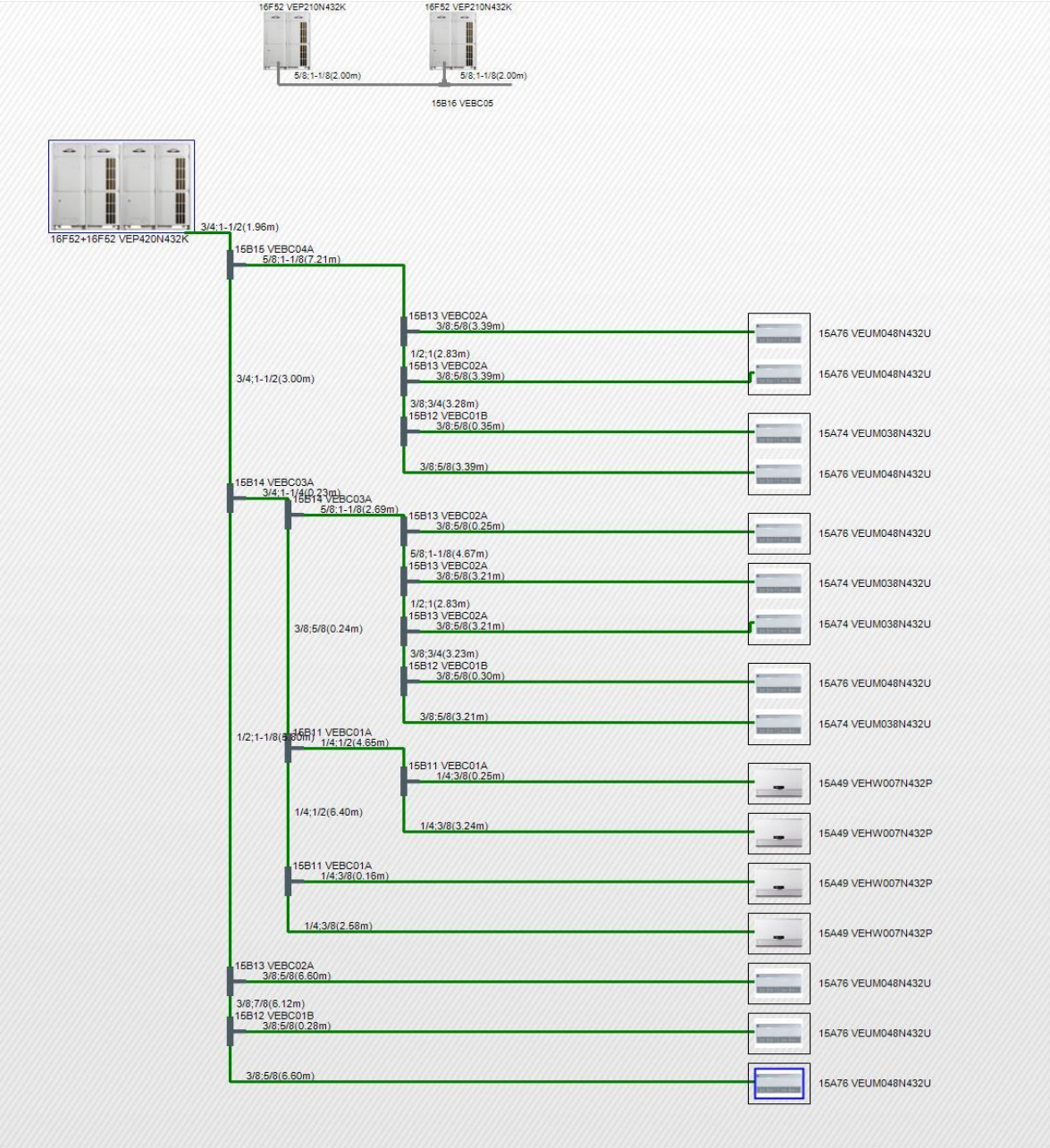


Ilustración 28. Unifilar de distribución unidades exteriores e interiores del Sistema II. Fuente: Diseño propio en VRF Selector Lennox ®.

3.1.3. Especificaciones del sistema

El sistema se divide en dos partes. La primera parte contiene a las aulas de la izquierda del Edificio II, la segunda parte las aulas de la derecha, divididas por las escaleras de acceso. A continuación, una tabla con las aulas de cada sistema y sus unidades interiores (IDU del inglés “Indoor Unit”). Además de los cables eléctricos necesarios y la cantidad de fases.

Aula	Modelo IDU	Circuit Breaker(A)	AWG Fase x Cable	Fases (N)
Sistema 1				
0201	15A76 VEUM048N432U	6 A	AWG #18 x 3	1
0202	15A76 VEUM048N432U	6 A	AWG #18 x 3	1
0203	15A76 VEUM048N432U	6 A	AWG #18 x 3	1
0207	15A76 VEUM048N432U	6 A	AWG #18 x 3	1
0208	15A76 VEUM048N432U	6 A	AWG #18 x 3	1
0209	15A76 VEUM048N432U	6 A	AWG #18 x 3	1
0216	15A74 VEUM038N432U	6 A	AWG #18 x 3	1
0216	15A71 VEUM024N432U	6 A	AWG #18 x 3	1
TI	15A51 VEHW012N432P	6 A	AWG #18 x 3	1
0213	15A74 VEUM038N432U	6 A	AWG #18 x 3	1
0213	15A74 VEUM038N432U	6 A	AWG #18 x 3	1
0214	15A76 VEUM048N432U	6 A	AWG #18 x 3	1
0215	15A74 VEUM038N432U	6 A	AWG #18 x 3	1
0215	15A71 VEUM024N432U	6 A	AWG #18 x 3	1
Sistema 2				
0204	15A76 VEUM048N432U	6 A	AWG #18 x 3	1
0205	15A76 VEUM048N432U	6 A	AWG #18 x 3	1
0206	15A76 VEUM048N432U	6 A	AWG #18 x 3	1
C1	15A49 VEHW007N432P	6 A	AWG #18 x 3	1
C2	15A49 VEHW007N432P	6 A	AWG #18 x 3	1
C3	15A49 VEHW007N432P	6 A	AWG #18 x 3	1
C4	15A49 VEHW007N432P	6 A	AWG #18 x 3	1
0211	15A76 VEUM048N432U	6 A	AWG #18 x 3	1
0211	15A74 VEUM038N432U	6 A	AWG #18 x 3	1
0212	15A74 VEUM038N432U	6 A	AWG #18 x 3	1
0212	15A74 VEUM038N432U	6 A	AWG #18 x 3	1
0210	15A76 VEUM048N432U	6 A	AWG #18 x 3	1
0217	15A74 VEUM038N432U	6 A	AWG #18 x 3	1
0217	15A76 VEUM048N432U	6 A	AWG #18 x 3	1
0218	15A76 VEUM048N432U	6 A	AWG #18 x 3	1
0218	15A76 VEUM048N432U	6 A	AWG #18 x 3	1

Tabla 33. Especificaciones Eléctricas Unidades de Interior. Fuente: Elaboración propia.

Ambas partes del sistema contienen un bloque de dos Condensadoras de 210,000 BTU (17.5 Toneladas) que alimentan tantas evaporadoras. A continuación, una tabla con las distribuciones de los sistemas, sus unidades exteriores (ODU del inglés “Indoor Unit”) y los cables eléctricos necesarios.

Modelo ODU	Circuit Breaker (A)	Sección de cable (pulgada²) x Núcleos
Sistema 1		
16F52 VEP210N432K	150 A	AWG #1/0 x 4
16F52 VEP210N432K	150 A	AWG #1/0 x 4
Sistema 2		
16F52 VEP210N432K	150 A	AWG #1/0 x 4
16F52 VEP210N432K	150 A	AWG #1/0 x 4

Tabla 34. Especificaciones Eléctricas Unidades de Interior. Fuente: Elaboración propia.

La siguiente tabla describe las especificaciones técnicas y el significado de cada código de las unidades instaladas interiores y exteriores.

Cantidad	Modelo	Descripción
Sistema 1		
1	16F52+16F52 VEP420N432K	Lennox VRF Condensadora 420 kBTU, 208/230V-3ph
7	15A76 VEUM048N432U	Tipo Piso Techo 48 kBTU/h
4	15A74 VEUM038N432U	Tipo Piso Techo 38 kBTU/h
2	15A71 VEUM024N432U	Tipo Piso Techo 24 kBTU/h
1	15A51 VEHW012N432P	Tipo Mini Split de Pared 12 kBTU/h
14	15B17 VERCL1A	Control Remoto
Sistema 2		
1	16F52+16F52 VEP420N432K	Lennox VRF Condensadora 420 kBTU, 208/230V-3ph
8	15A76 VEUM048N432U	Tipo Piso Techo 48 kBTU/h
4	15A49 VEHW007N432P	Tipo Mini Split de Pared 7 kBTU/h
4	15A74 VEUM038N432U	Tipo Piso Techo 38 kBTU/h
17	15B17 VERCL1A	Control Remoto

Tabla 35. Especificaciones técnicas de las unidades. Fuente: Elaboración propia.

La siguiente tabla muestra la ratio de capacidad interior y exterior. Cuando se hace referencia a ratio quiere decir el cociente entre dos números y en este caso es la relación entre la capacidad de la unidad exterior sobre la suma total de las unidades interiores de cada sistema.

Se observa que la capacidad exterior está dimensionada a un 131% y 135% sobre la capacidad nominal. Según el fabricante de los equipos, la ratio recomendada es de un 125% y el límite permitido 135%. Sin embargo, en las mediciones realizadas a las horas de trabajo de los equipos de cada aula destacan que no hay un momento en que la cantidad de unidades interiores que se encuentren trabajando de manera simultánea sobrepase el 125% de la capacidad nominal de la unidad exterior de cada sistema.

Capacidad Total ODU	Capacidad Total IDU	Ratio de Capacidad Interior/Exterior
419.68 kBtu/h	547.97 kBtu/h	131%
419.68 kBtu/h	565.03 kBtu/h	135%

Tabla 36. Ratio de Capacidad Interior y Exterior. Fuente: Elaboración propia.

Las unidades interiores y exteriores de sistema propuesto trabajan a una tensión de 220V monofásico. Las unidades exteriores trabajan a una tensión de 208-230V trifásico, con una capacidad total nominal de enfriamiento de 37.8 kW en ambos sistemas y 75.6kW en total.

3.1.4. Potencia nominal del sistema VRF propuesto

	Evaporadora	Condensadora	Potencia Nivel 1
Aula 0201	160 W	3,353 W	3,513 W
Aula 0202	160 W	3,397 W	3,557 W
Aula 0203	160 W	2,815 W	2,975 W
Aula 0204	160 W	3,352 W	3,512 W
Aula 0205	160 W	2,952 W	3,112 W
Aula 0206	160 W	3,288 W	3,448 W
Suma de Pot.	960 W	19,156 W	20,116 W

	Evaporadora	Condensadora	Potencia Nivel 2
Aula 0207	160 W	3,460 W	3,620 W
Aula 0208	160 W	3,546 W	3,706 W
Aula 0209	160 W	3,438 W	3,598 W
Aula 0210	160 W	3,037 W	3,197 W
Aula 0211	320 W	5,507 W	5,827 W
Aula 0212	320 W	5,390 W	5,710 W
Cubículos	50 W	1,708 W	1,758 W
Suma de Pot.	1,330 W	26,087 W	27,417 W

	Evaporadora	Condensadora	Potencia Nivel 3
Aula 0213	320 W	5,116 W	5,436 W
Aula 0214	160 W	3,184 W	3,344 W
Aula 0215	235 W	4,454 W	4,689 W
Aula 0216	235 W	4,366 W	4,601 W
Aula 0217	320 W	5,834 W	6,154 W
Aula 0218	320 W	6,545 W	6,865 W
Hab. de TI	50 W	858 W	908 W
Suma de Pot.	1,640 W	30,358 W	31,998 W

	Evaporadora	Condensadora	Potencia Total Edif. II
Suma Total de potencia	3,930 W	75,600 W	79,530 W

Tabla 37. Potencia instalada total del sistema propuesto. Fuente: Elaboración propia.

La tabla anterior muestra la potencia nominal de consumo de cada equipo propuesto a cada aula según las especificaciones técnicas de cada aula, de manera que se pueda calcular la potencia total instalada de todo el sistema.

3.1.5. Estimación de consumo

La siguiente tabla muestra un estudio de las horas de trabajo de los equipos de cada aula.

	Semanales	Mensuales	Anuales
Aula 0201	21	91.25	1094.94
Aula 0202	19	82.56	990.66
Aula 0203	19	82.56	990.66
Aula 0204	33	143.39	1720.62
Aula 0205	35	152.08	1824.90
Aula 0206	35	152.08	1824.90
Aula 0207	29	126.01	1512.06
Aula 0208	33	143.39	1720.62
Aula 0209	35	152.08	1824.90
Aula 0210	27	117.32	1407.78
Aula 0211	21	91.25	1094.94
Aula 0212	19	82.56	990.66
Aula 0213	21	91.25	1094.94
Aula 0214	29	126.01	1512.06
Aula 0215	21	91.25	1094.94
Aula 0216	27	117.32	1407.78
Aula 0217	27	117.32	1407.78
Aula 0218	27	117.32	1407.78
Habit. De TI	99	430.16	5161.86
Cubículos	15	65.18	782.10

Tabla 38. Horas de trabajo de cada aula. Fuente: Elaboración propia.

Con la tabla 38 de potencia instalada en el sistema propuesto y las mediciones de las horas de uso de cada aula del Edificio II, se calculó el consumo real de energía que tendría el sistema propuesto de carácter mensual.

	Evaporadora	Condensadora	Energía Nivel 1
Aula 0201	14,599 Wh	305,929 Wh	320,528 Wh
Aula 0202	13,209 Wh	280,414 Wh	293,623 Wh
Aula 0203	13,209 Wh	232,363 Wh	245,571 Wh
Aula 0204	22,942 Wh	480,557 Wh	503,498 Wh
Aula 0205	24,332 Wh	448,998 Wh	473,330 Wh
Aula 0206	24,332 Wh	499,992 Wh	524,324 Wh
Suma	**112,622 Wh**	**2,248,252 Wh**	**2,360,874 Wh**

	Evaporadora	Condensadora	Energía Nivel 2
Aula 0207	20,161 Wh	435,919 Wh	456,080 Wh
Aula 0208	22,942 Wh	508,411 Wh	531,353 Wh
Aula 0209	24,332 Wh	522,828 Wh	547,160 Wh
Aula 0210	18,770 Wh	356,342 Wh	375,113 Wh
Aula 0211	29,198 Wh	502,500 Wh	531,698 Wh
Aula 0212	26,418 Wh	444,997 Wh	471,415 Wh
Cubículos	3,259 Wh	111,339 Wh	114,598 Wh
Suma	145,080 Wh	2,882,336 Wh	3,027,416 Wh

	Evaporadora	Condensadora	Energía Nivel 3
Aula 0213	29,198 Wh	466,801 Wh	496,000 Wh
Aula 0214	20,161 Wh	401,209 Wh	421,370 Wh
Aula 0215	21,443 Wh	406,404 Wh	427,847 Wh
Aula 0216	27,569 Wh	512,197 Wh	539,766 Wh
Aula 0217	37,541 Wh	684,456 Wh	721,997 Wh
Aula 0218	37,541 Wh	767,813 Wh	805,354 Wh
Hab. de TI	21,508 Wh	369,210 Wh	390,718 Wh
Suma	194,960 Wh	3,608,092 Wh	3,803,052 Wh

	Evaporadora	Condensadora	Energía Total Edif. II
Suma Total de Energía	452,662 Wh	8,738,680 Wh	9,191,342 Wh

Tabla 39. Energía total del sistema de AA propuesto. Fuente: Elaboración propia.

De manera similar con la tabla 29 de potencia instalada en el sistema de acondicionadores de aires actual y las mediciones de las horas de uso de cada aula del Edificio II, se calculó el consumo real de energía que tendría el sistema actual de carácter mensual.

	Evaporadora	Condensadora	Energía Nivel 1
Aula 0201	0 Wh	684,338 Wh	684,338 Wh
Aula 0202	0 kWh	619,163 Wh	619,163 Wh
Aula 0203	0 Wh	619,163 Wh	619,163 Wh
Aula 0204	0 Wh	1,075,388 Wh	1,075,388 Wh
Aula 0205	0 Wh	456,225 Wh	456,225 Wh
Aula 0206	0 kWh	684,338 Wh	684,338 Wh
Suma	0 Wh	4,138,613 Wh	4,138,613 Wh

	Evaporadora	Condensadora	Energía Nivel 2
Aula 0207	0 Wh	567,023 Wh	567,023 Wh
Aula 0208	0 kWh	645,233 Wh	645,233 Wh
Aula 0209	0 Wh	684,338 Wh	684,338 Wh
Aula 0210	0 Wh	527,918 Wh	527,918 Wh
Aula 0211	0 Wh	1,231,808 Wh	1,231,808 Wh
Aula 0212	0 kWh	619,163 Wh	619,163 Wh
Cubículos	0 Wh	488,813 Wh	488,813 Wh
Suma	0 Wh	4,764,293 Wh	4,764,293 Wh

	Evaporadora	Condensadora	Energía Nivel 3
Aula 0213	0 Wh	821,205 Wh	**821,205 Wh**
Aula 0214	0 kWh	945,038 Wh	**945,038 Wh**
Aula 0215	0 Wh	889,639 Wh	**889,639 Wh**
Aula 0216	0 Wh	879,863 Wh	**879,863 Wh**
Aula 0217	0 kWh	879,863 Wh	**879,863 Wh**
Aula 0218	0 Wh	1,055,835 Wh	**1,055,835 Wh**
Hab. de TI	0 Wh	1,290,465 Wh	**1,290,465 Wh**
Suma	**0 Wh**	**6,761,906 Wh**	**6,761,906 Wh**

	Evaporadora	Condensadora	Energía Total Edif. II
Suma Total de Energía	**0 Wh**	**15,664,811 Wh**	**15,664,811 Wh**

Tabla 40. Energía total del sistema de AA actual. Fuente: Elaboración propia.

En resumen, se muestra la siguiente tabla donde se destaca una disminución de la potencia instalada en 57.72 kW y un ahorro de energía de 6,473.47 kWh del sistema actual versus el sistema propuesto.

	Sistema Actual	Sistema Propuesto	Diferencia (Actual -Propuesto)
Potencia	137.25 kW	79.53 kW	57.72 kW
Energía	15,664.81 kWh	9,191.34 kWh	6,473.47 kWh

Tabla 41. Resumen de potencia y energía de sistema de AA. Fuente: Elaboración propia.

Si se toma la diferencia de potencia calculada del sistema actual y el sistema propuesto y se le resta a la potencia máxima registrada en la facturación desde enero de 2016 a octubre de 2016 (tabla 33), y la diferencia de energía calculada de la pasada tabla se le resta al promedio de la suma de energía de la tabla 33, se estima un ahorro económico mensual de RD$78,608.57, lo que supone un ahorro de un 20% cada mes.

	Ahorrado	Tarifa	Costo
Energía	6,473.47 kWh	RD$7.81	RD$50,557.80
Potencia máxima	57.72 kW	RD$485.98	RD$28,050.77
		Ahorro Total:	**RD$78,608.57**

Tabla 42. Ahorro económico estimado. Fuente: elaboración propia.

La siguiente tabla muestra un modelo de lo que sería, en promedio, un mes de facturación con el sistema propuesto instalado, tomando como energía el promedio de la registrada en la facturación, y como potencia máxima, la más alta registrada en un año.

		Consumido	Tarifa	Costo
Mes del año	**Cargo fijo**	30 días	RD$224.53	RD$224.53
	Energía	31,314.53 kWh	RD$7.81	RD$244,566.48
	Potencia máxima	133.00 kW	RD$485.98	RD$64,635.34
			Costo Total:	**RD$309,426.35**

Tabla 43. Facturación estimada con el sistema propuesto instalado. Fuente: elaboración propia.

3.2. Informe económico del sistema propuesto

3.2.1. Presupuesto

A continuación, se presenta la propuesta económica para el Suministro e Instalación de Sistema de Climatización VRF del Edificio ll del Campus de Ingeniería de la Universidad APEC.

1.00 Suministro e Instalación de Sistema de Climatización No. 1 VRF, Edificio ll CAFAM, UNAPEC

ITEM	Refencia	Descripción	Cantidad	Unidad	P. Unit	Sub-Total
1.01	16F52+16F52 VEP420N432K	Condensador VRF 208/230V-3ph 420 kBTU/h	1.00	UD	906,740.68	906,740.68
1.02	15A76 VEUM048N432U	A/A Tipo Piso Techo 48,000 BTU/h VRF	7.00	UD	50,826.27	355,783.90
1.03	15A74 VEUM038N432U	A/A Tipo Piso Techo 38,000 BTU/h VRF	4.00	UD	48,793.22	195,172.88
1.04	15A71 VEUM024N432U	A/A Tipo Piso Techo 24,000 BTU/h VRF	2.00	UD	42,694.07	85,388.14
1.05	15A51 VEHW012N432P	A/A Tipo Wall Mounted 12,000 BTU/h VRF	1.00	UD	17,077.63	17,077.63
1.06	15B15 VEBC04A	Branch for Heat Pump Unit Tipo 5	1.00	UD	14,231.36	14,231.36
1.07	15B13 VEBC02A	Branch for Heat Pump Unit Tipo 3	5.00	UD	5,285.93	26,429.66
1.08	15B12 VEBC01B	Branch for Heat Pump Unit Tipo 2	4.00	UD	2,642.97	10,571.86
1.09	15B14 VEBC03A	Branch for Heat Pump Unit Tipo 4	2.00	UD	6,099.15	12,198.31
1.10	15B11 VEBC01A	Branch for Heat Pump Unit Tipo 1	1.00	UD	1,829.75	1,829.75
1.11	15B16 VEBC05	Branch for Heat Pump Unit Tipo 6	1.00	UD	16,264.41	16,264.41
1.12	TDC14	Tubería de Cobre 1/4" Rígida	0.02	UD	818.64	13.43
1.13	TDC38	Tubería de Cobre 3/8" Rígida	10.25	UD	730.93	7,488.46
1.14	TDC12	Tubería de Cobre 1/2" Rígida	2.68	UD	818.64	2,192.43
1.15	TDC58	Tubería de Cobre 5/8" Rígida	6.21	UD	1,170.53	7,265.92
1.16	TDC34	Tubería de Cobre 3/4" Rígida	4.21	UD	1,305.93	5,504.24
1.17	TDC78	Tubería de Cobre 7/8" Rígida	2.01	UD	1,754.24	3,518.51
1.18	TDC01	Tubería de Cobre 1" Rígida	0.76	UD	2,004.84	1,519.03
1.19	TDC118	Tubería de Cobre 1-1/8" Rígida	2.78	UD	2,962.71	8,226.03
1.20	TDC114	Tubería de Cobre 1-1/4" Rígida	0.49	UD	2,506.05	1,232.98
1.21	TDC112	Tubería de Cobre 1-1/2" Rígida	0.82	UD	3,007.26	2,461.02
1.22	CDC14	Codo de Cobre 1/4"	2.00	UD	14.62	29.24
1.23	CDC38	Codo de Cobre 3/8"	26.00	UD	16.57	430.76
1.24	CDC12	Codo de Cobre 1/2"	2.00	UD	20.47	40.93
1.25	CDC58	Codo de Cobre 5/8"	28.00	UD	27.29	764.07
1.26	CDC118	Codo de Cobre 1-1/8"	2.00	UD	58.47	116.95
1.27	MO	Mano de Obra Instalación	1.00	PA	84,124.63	84,124.63
1.26	MMI	Materiales Menores e Imprevistos	1.00	PA	33,649.85	33,649.85
					Sub-Total 1 RD$	**1,800,267.03**

2.00 Suministro e Instalación de Sistema de Climatización No. 2 VRF, Edificio ll CAFAM, UNAPEC

ITEM	Refencia	Descripción	Cantidad	Unidad	P. Unit	Sub-Total
2.01	16F52+16F52 VEP420N432K	Condensador VRF 208/230V-3ph 420 kBTU/h	1.00	UD	906,740.68	906,740.68
2.02	15A76 VEUM048N432U	A/A Tipo Piso Techo 48,000 BTU/h VRF	8.00	UD	50,826.27	406,610.17
2.03	15A49 VEHW007N432P	A/A Tipo Wall Mounted 7,000 BTU/h VRF	4.00	UD	14,231.36	56,925.42
2.04	15A74 VEUM038N432U	A/A Tipo Piso Techo 38,000 BTU/h VRF	4.00	UD	48,793.22	195,172.88
2.05	15B15 VEBC04A	Branch for Heat Pump Unit Tipo 5	1.00	UD	14,231.36	14,231.36
2.06	15B13 VEBC02A	Branch for Heat Pump Unit Tipo 3	6.00	UD	5,285.93	31,715.59
2.07	15B12 VEBC01B	Branch for Heat Pump Unit Tipo 2	3.00	UD	2,642.97	7,928.90

2.08	15B14 VEBC03A	Branch for Heat Pump Unit Tipo 4	2.00	UD	6,099.15	12,198.31
2.09	15B11 VEBC01A	Branch for Heat Pump Unit Tipo 1	3.00	UD	1,829.75	5,489.24
2.10	15B16 VEBC05	Branch for Heat Pump Unit Tipo 6	1.00	UD	16,264.41	16,264.41
2.11	TDC14	Tubería de Cobre 1/4" Rígida	2.83	UD	818.64	2,319.97
2.12	TDC38	Tubería de Cobre 3/8" Rígida	8.74	UD	730.93	6,386.83
2.13	TDC12	Tubería de Cobre 1/2" Rígida	3.69	UD	818.64	3,022.14
2.14	TDC58	Tubería de Cobre 5/8" Rígida	8.69	UD	1,170.53	10,172.29
2.15	TDC34	Tubería de Cobre 3/4" Rígida	1.92	UD	1,305.93	2,505.82
2.16	TDC78	Tubería de Cobre 7/8" Rígida	1.00	UD	1,754.24	1,760.69
2.17	TDC01	Tubería de Cobre 1" Rígida	0.93	UD	2,004.84	1,860.98
2.18	TDC118	Tubería de Cobre 1-1/8" Rígida	4.00	UD	2,962.71	11,841.01
2.19	TDC114	Tubería de Cobre 1-1/4" Rígida	0.04	UD	2,506.05	94.53
2.20	TDC112	Tubería de Cobre 1-1/2" Rígida	0.81	UD	3,007.26	2,446.23
2.21	CDC14	Codo de Cobre 1/4"	8.00	UD	14.62	116.95
2.22	CDC38	Codo de Cobre 3/8"	24.00	UD	16.57	397.63
2.23	CDC58	Codo de Cobre 5/8"	18.00	UD	27.29	491.19
2.24	CDC118	Codo de Cobre 1-1/8"	2.00	UD	58.47	116.95
2.25	MO	Mano de Obra Instalación	1.00	PA	84,840.51	84,840.51
2.24	MMI	Materiales Menores e Imprevistos	1.00	PA	33,936.20	33,936.20
				Sub-Total 2	**RD$**	**1,815,586.86**

TOTAL GENERAL **RD$ 3,615,853.89**

Precios no incluyen ITBIS

Notas Aclaratorias:

.- Tiempo de Entrega de Equipos: 12-14 Semanas, Fábrica no trabaja en Febrero por lo cual no se considera laboral.
.- Condiciones de pago: 50% con orden de compra; 50% contra entrega.
.- Los precios fueron calculados en base a una tasa del dólar de RD$47.98 = USD 1 dada por el Banco Central
.- Tiempo de Ejecución: 4 Semanas dependiendo de las facilidades dadas por el cliente.
.- Garantía: Un año de Garantía en Piezas y Servicios.
.- Validez de la Oferta: 4 Semanas.

3.2.2. Tiempo de retorno máximo y rentabilidad de la inversión

Se dice que el sistema propuesto de acondicionadores de aire con tecnología VRF tiene un costo total de RD$3,615,853.89. Si se toma el costo y se divide entre el ahorro de la facturación en caso de instalar el sistema propuesto, se obtiene la cantidad de meses que tardan ambos costos en hacerse equivalentes.

$$Tiempo\ de\ retorno\ de\ inversion = \frac{\text{RD\$3,615,853.89}}{\text{RD\$78,608.57}/meses} = 45.998 \cong 46\ meses$$

Si se convierte este resultado de meses años obtenemos lo siguiente.

$$Tiempo\ de\ retorno\ de\ inversion = 46\ meses\ \frac{1\ \text{año}}{12\ \text{meses}} = 3.833 \cong 3\ años\ y\ 10\ meses$$

Teniendo en cuenta que, los equipos tienen un tiempo de vida útil de 25 años y la inversión se recupera en menos de cuatro años, se demuestra que la inversión es rentable.

CONCLUSIONES

El propósito del presente trabajo de grado es demostrar técnica y económicamente que, reemplazando los equipos de climatización convencionales instalados en las Aulas y Laboratorios del Edificio II del campus de Ingeniería, por un sistema de Flujo Variable de Refrigerante (VRF) habrá un potencial ahorro en la Facturación Eléctrica.

Luego de realizar un análisis financiero minucioso, se obtuvo que la instalación y puesta en marcha del sistema VRF propuesto tiene un costo total de RD$3,615,853.89, esto incluye los costos de los equipos y la mano de obra.

Desde el punto de vista del consumo energético, el sistema de climatización VRF propuesto para el cual se estimó un consumo de energía mensual de 9,191.34 kWh es más factible, si es comparado con el sistema de climatización actual que tiene un consumo de energía mensual aproximado de 15,664.81 kWh, lo que representaría un ahorro de energía de 6,473.47 kWh en cada mes.

Con el sistema propuesto se calcula un ahorro económico mensual de RD$78,608.57, lo que representa un ahorro de un 20% cada mes. Por lo que, el tiempo de retorno de la inversión sería de 3 años y 10 meses.

A raíz del levantamiento realizado en las instalaciones de climatización del campus II y un posterior análisis y cálculo es evidente que las toneladas de refrigeración total instaladas cumplen con las cargas frigoríficas requeridas según los cálculos realizados, sin embargo, se puede notar aulas que no están bien dimensionadas, en donde la cantidad de toneladas instaladas están por debajo de lo requerido. Lo que significa que, aunque la potencia total instalada de toneladas de refrigeración está bien dimensionada, la distribución de esta potencia no lo está.

Por último, pero no menos importante, está la parte estética del Edificio II del campus de Ingeniería de la Universidad APEC, con la instalación del sistema VRF es posible lograr reducir el espacio consumido por los condensadores de los equipos Acondicionadores de Aire Split instalados en la Universidad, que se encuentran dispersos en el techo y no dejan una impresión agradable a la vista.

RECOMENDACIONES

Como se puede observar en el análisis económico de la propuesta la inversión inicial es considerable, pero es recomendable la instalación de un sistema VRF por múltiples motivos positivos, el retorno de inversión en el ahorro que se obtendrá de la energía eléctrica será relativamente corto ya que se estima un retorno en menos de cuatro años, sin considerar que los equipos actuales debido al tiempo que tienen han perdido eficiencia lo que hace que tengan un consumo más alto de lo normal, sumándole a esto que todos los equipos actuales utilizan gas refrigerante R-22 (clorodifluorometano) el cual fue prohibida su distribución por ser altamente perjudicial para la capa de ozono, actualmente ha sido sustituido por el R-410A y es el gas refrigerante utilizado en todos los equipos a ser instalados en el sistema VRF el cual no dañan la capa de ozono, ayudan al efecto invernadero, no es tóxico ni inflamable, es estable en condiciones normales de presión y temperatura y son eficientes energéticamente.

Es recomendable elaborar un plan de mantenimiento preventivo de los equipos, ya que el costo de mantenimiento es relativamente barato debido a su sencillez en comparación al costo de la reparación de éstos ya sea de un compresor o una condensadora, por otra parte, cuando los equipos no llevan un mantenimiento adecuado tienden a trabajar más forzado por lo que el ahorro de la factura eléctrica irá disminuyendo.

Es necesario el cambio de la alimentación eléctrica de los equipos, la alimentación del sistema VRF es de 208 trifásica por lo que será necesario una instalación que lleve una alimentación trifásica al techo y se dirijan paneles exclusivamente para las evaporadoras que estarán instaladas en cada uno de los cursos para poder hacer los mantenimientos de manera más ágil y para fines de medición ya que la instalación actual está muy deteriorada y no hay un punto exacto de alimentación.

Analizando las características del edificio hay cargas parciales de más del 80% más de 50% del tiempo.

Se están considerando 2 Sistemas de VRF con lo que se logra cubrir eficientemente aún a cargas parciales menores al 50% de lo requerido por el edificio. Lo que permite reducir el consumo energético en un gran porcentaje, éste se puede observar en el capítulo tres de manera más detallada.

Con la instalación del sistema VRF se puede tener diferentes temperaturas en un mismo sistema para adaptar cada aula de acuerdo con sus necesidades. Con esto se logra que el sistema no siempre esté trabajando a máxima capacidad.

La temperatura dentro de cada aula se puede graduar con un control digital lo cual eficientiza el sistema y representará un ahorro significativo en la factura eléctrica.

La instalación puede realizarse en diferentes secciones teniendo aperturas parciales, lo que da la ventaja de que puede ser instalado en cualquier momento y no afectar a toda la población estudiantil que esté requiriendo el uso de los laboratorios en esos momentos.

Se recomienda migrar a una automatización vía computadora para su administración de manera tal que se puede controlar la temperatura de manera remota y mantener las aulas climatizadas de manera eficiente sin que sea una temperatura extremadamente baja que saque de su rango de eficiencia al equipo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(s.f.). Obtenido de http://conceptodefinicion.de/energia/

ADIE - Asociación Dominicana de la Industria Eléctrica. (18 de Agosto de 2015). ¿Qué tipo de cliente soy? - segunda parte. Obtenido de adie.org.do: http://adie.org.do/index.php/component/k2/item/119-que-tipo-de-cliente-soy-segunda-parte

Aguilar, A. E. (s.f.). Obtenido de https://www.aiu.edu/publications/student/spanish/manejo%20de%20energia.htm

Airzone. (18 de Marzo de 2015). BREVE HISTORIA DE LA CLIMATIZACIÓN. Obtenido de Airzone: http://www.airzone.es/blog/curiosidades/breve-historia-de-la-climatizacion/

Armnstrong. (s.f.). Condiciones de limpieza y calidad del aire. Obtenido de Armstrong Building Products: http://www.armstrong.com/assets/global/commclgeu/flash/healthcare-01-2011/es/pdf/ES_CONDICIONES%20DE%20LIMPIEZA%20Y%20CALIDAD%20DEL%20AIRE.pdf

ASHRAE Guadalajara Chapter. (2011). Obtenido de http://ashraegdl.org/

Bathia, A. (2014). HVAC Variable Refrigerant Flow System. New York: CEDEngineering.com.

BERNAL, C. A. (2010). Metodología de la investigación (Tercera ed.). Colombia: PEARSON EDUCACIÓN.

Bolivar, L. P., & Martinez, M. A. (2014). ESTUDIO DE EFICIENCIA ENERGETICA DE EQUIPOS Y SISTEMAS DE AIRE ACONDICIONADO EN LA EDIFICACIÓN DEL BLOQUE G DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL CARIBE. Barranquilla: Universidad Autonoma Del Caribe.

Climas Monterrey. (s.f.). Obtenido de http://www.climasmonterrey.com/por-que-ocurre-el-regreso-de-refrigerante-liquido

Climatizacion. (27 de Septiembre de 2017). Obtenido de Wikipedia Web Site: https://es.wikipedia.org/wiki/Climatizaci%C3%B3n

Daikin. (s.f.). Obtenido de https://www.daikin.es/es_es/acerca-de/daikin-innovations/variable-refrigerant-volume.html

Daikin Co. . (s.f.). Aire Acondicionado: Cómo funciona. Obtenido de Daikin Web Site: https://www.daikin.es/es_es/aire-acondicionado/como-funciona.html

ENERGY.GOV. (20 de Julio de 2015). Obtenido de https://energy.gov/articles/history-air-conditioning

FLUKE. (s.f.). Obtenido de http://www.fluke.com/fluke/eses/soluciones/electricas/glosario_de_t%C3%A9rminos_de_electricidad#P

Frionline.net. (4 de 4 de 2010). Obtenido de http://frionline.net/articulos-tecnicos/70-tecnologia-inverter-en-acondicionadores-de-aire.html

González, C. (s.f.). Historia del aire acondicionado. Obtenido de El Aire Acondicionado.com: http://www.elaireacondicionado.com/articulos/historia-del-aire-acondicionado

HERNANDEZ, L. P., & MARTINEZ GOMEZ, M. A. (2014). ESTUDIO DE EFICIENCIA ENERGETICA DE EQUIPOS Y SISTEMAS DE AIRE ACONDICIONADO EN LA EDIFICACION DEL BLOQUE G DE LA UNIVERSIDAD. Barranquilla.

https://es.wikipedia.org/wiki/Humedad. (2017).

Mentor Poveda. (Agosto de 2007). www.olade.org. Obtenido de www.olade.org: http://www.olade.org/sites/default/files/portal-ee/EFICIENCIA%20ENERG%C3%89TICA%20RECURSO%20NO%20APROVECHADO-Agosto-2007.pdf

Miranda, A. L. (1996). AIRE ACONDICIONADO. Barcelona, España: Ceac, S.A.

Orion Air Conditioning & Refrigeration Ltd. (12 de November de 2016). Obtenido de Orion Air: http://www.orionair.co.uk/Fujitsu%20VRF%20air%20conditioning.htm

Pita, E. G. (1994). ACONDICIONAMIENTO DE AIRE: PRINCIPIOS Y SISTEMAS (SEGUNDA ed.). Mexico: Compañia Editrial Continental, S.A.

REFRIGERATION, I. A.-C. (1994). Manual de refrigeración y aire acondicionado. Toronto, Estados Unidos: PRENTICE-HALL HISPANOAMERICANA, S.A.

Rivas, P. (2017). Instalaciiones y eficiencia energética .com. Obtenido de http://instalacionesyeficienciaenergetica.com/variador-de-frecuencia-ahorro-energia/

Seitersrl. (2012). Obtenido de http://es.seitersrl.com/soluciones-servicios:sistemas-hvac-heating-ventilation-air-conditioning

Valmen. (2014). Obtenido de http://www.valmen.cl/que-es-aire-acondicionado/

Whitman, W. C., & Johnson, W. M. (2000). Tecnología de la Refrigeración y Aire Acondicionado. Fundamentos. Madrid: Editorial Paraninfo.

Wikipedia. (s.f.). Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_el%C3%A9ctrica

Wikipedia. (18 de Octubre de 2017). Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Refrigeraci%C3%B3n

Wikipedia®. (30 de Octubre de 2017). Wikipedia . Obtenido de Sistema de alimentación ininterrumpida: https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_alimentaci%C3%B3n_ininterrumpida

Willis Haviland Carrier. (27 de Julio de 2017). Obtenido de Wikipedia: https://es.wikipedia.org/wiki/Willis_Haviland_Carrier

ZEMANSKY, S. (s.f.). FÍSICA UNIVERSITARIA CON FÍSICA MODERNA (Decimosegunda ed., Vol. 2).

ANEXOS O APÉNDICES

Apéndice A. Diferencias de temperatura para cargas de enfriamiento (DCTE) para calcular debidas a techos planos, 1ºF.

Techo No.	Descripción de la construcción	Hora Peso, lb/ft²	Valor de U, BTU/h Ft²·°F	Hora solar, h 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
				Sin cielo raso suspendido																							
1.	Lámina de metal con aislamiento de 1 o 2 in	7 (8)	0.213 (0.124)	1	−2	−3	−3	−5	−3	6	19	34	49	61	71	78	79	77	70	59	45	30	18	12	8	5	3
2.	Madera de 1 in con aislamiento de 1 in	8	0.170	6	3	0	−1	−3	−3	−2	4	14	27	39	52	62	70	74	74	70	62	51	38	28	20	14	9
3.	Concreto ligero de 4 in	18	0.213	9	5	2	0	−2	−3	−3	1	9	20	32	44	55	64	70	73	71	66	57	45	34	25	18	13
4.	Concreto pesado de 1a 2 in con aislamiento de 2 in	29	0.206 (0.122)	12	8	5	3	0	−1	−1	3	11	20	30	41	51	59	65	66	66	62	54	45	36	29	22	17
5.	Madera de 1 in con aislamiento de 2 in	19	0.109	3	0	−3	−4	−5	−7	−6	−3	5	16	27	39	49	57	63	64	62	57	48	37	26	18	11	7
6.	Concreto ligero de 6 in	24	0.158	22	17	13	9	6	3	1	1	3	7	15	23	33	43	51	58	62	64	62	57	50	42	35	28
7.	Madera de 2.5 in con con aislamiento de 1 in	13	0.130	29	24	20	16	13	10	7	6	6	9	13	20	27	34	42	48	53	55	56	54	49	44	39	34
8.	Concreto ligero de 8 in	31	0.126	35	30	26	22	18	14	11	9	7	7	9	13	19	25	33	39	46	50	53	54	53	49	45	40
9.	Concreto pesado de 4 in con aislamiento de 1 o 2 in	52 (52)	0.200 (0.120)	25	22	18	15	12	9	8	8	10	14	20	26	33	40	46	50	53	53	52	48	43	38	34	30
10.	Madera de 2.5 in con aislamiento de 2 in	13	0.093	30	26	23	19	16	13	10	9	8	9	13	17	23	29	36	41	46	49	51	50	47	43	39	35
11.	Sistema de terrazas de techo	75	0.106	34	31	28	25	22	19	16	14	13	13	15	18	22	26	31	36	40	44	45	46	45	43	40	37
12.	Concreto pesado de 6 in con aislamiento de 1 o 2 in	75 (75)	0.192 (0.117)	31	28	25	22	20	17	15	14	14	16	18	22	26	31	36	40	43	45	45	44	42	40	37	34
13.	Madera de 4 in con aislamiento de 1 o 2 in	17 (18)	0.106 (0.078)	38	36	33	30	28	25	22	20	18	17	16	17	18	21	24	28	32	36	39	41	43	43	42	40
				Con cielo raso suspendido																							
1.	Lámina de acero con aislamiento de 1 o 2 in	9 (10)	0.134 (0.092)	2	0	−2	−3	−4	−4	−1	9	23	37	50	62	71	77	78	74	67	56	42	28	18	12	8	5
2.	Madera de 1 in con aislamiento de 1 in	10	0.115	20	15	11	8	5	3	2	3	7	13	21	30	40	48	55	60	62	58	51	44	37	30	37	25
3.	Concreto ligero de 4 in	20	0.134	19	14	10	7	4	2	0	0	4	10	19	29	39	48	56	62	65	64	61	54	46	38	30	24
4.	Concreto pesado de 2 in con aislamiento de 1 in	30	0.131	28	25	23	20	17	15	13	13	14	16	20	25	30	35	39	43	46	47	46	44	41	38	35	32
5.	Madera de 1 in con aislamiento de 2 in	10	0.083	25	20	16	13	10	7	5	5	7	12	18	25	33	41	48	53	57	57	56	52	46	40	34	29
6.	Concreto ligero de 6 in	26	0.109	32	28	23	19	16	13	10	8	7	8	11	16	22	29	36	42	48	52	54	54	51	47	42	37
7.	Madera de 2.5 in con aislamiento de 1 in	15	0.096	34	31	29	26	23	21	18	16	15	15	16	18	21	25	30	34	38	41	43	44	44	42	40	37
8.	Concreto ligero de 8 in	33	0.093	39	36	33	29	26	23	20	18	15	14	14	15	17	20	25	29	34	38	42	45	46	45	44	42
9.	Concreto pesado de 4 in con aislamiento de 1 o 2 in	53 (54)	0.128 (0.090)	30	29	27	26	24	22	21	20	20	21	22	24	27	29	32	34	36	38	38	38	37	36	34	33
10.	Madera de 2.5 in con aislamiento de 2 in	15	0.072	35	33	30	28	26	24	22	20	18	18	18	20	22	25	28	32	35	38	40	41	41	40	39	37
11.	Sistema de terrazas de techo	77	0.082	30	29	28	27	26	25	24	23	22	22	22	23	23	25	26	28	29	31	32	33	33	33	33	32
12.	Concreto pesado con aislamiento de 1 a 2 in	77 (77)	0.125 (0.088)	29	28	27	26	25	24	23	22	21	21	22	23	25	26	28	30	32	33	34	34	34	33	32	31
13.	Madera de 4 in con aislamiento de 1 o 2 in	19 (20)	0.082 (0.064)	35	34	33	32	31	29	27	26	24	23	22	21	22	22	24	25	27	30	32	34	35	36	37	36

Fuente: (Pita, 1994)

Apéndice B. Diferencias de temperatura para cargas de enfriamiento (DCTE) para cálculo de carga de paredes al sol, 1ºF

Latitud norte, orientación de pared	Hora solar, h 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	Hora de la DTCE máxima	DTCE mínima	DTCE máxima	Diferencia de DTCE
Paredes grupo A																												
N	14	14	14	13	13	13	12	12	11	11	10	10	10	10	10	10	11	11	12	12	13	13	14	14	2	10	14	4
NE	19	19	19	18	17	17	16	15	15	15	15	15	16	16	17	18	18	18	19	19	20	20	20	20	22	15	20	5
E	24	24	23	23	22	21	20	19	19	18	19	19	20	21	22	23	24	24	25	25	25	25	25	25	22	18	25	7
SE	24	23	23	22	21	20	20	19	18	18	18	18	18	19	20	21	22	23	23	24	24	24	24	24	22	18	24	6
S	20	20	19	19	18	18	17	16	16	15	14	14	14	14	14	15	16	17	18	19	19	20	20	20	23	14	20	6
SW	25	25	25	24	24	23	22	21	20	19	19	18	17	17	17	17	18	19	20	22	23	24	25	25	24	17	25	8
W	27	27	26	26	25	24	24	23	22	21	20	19	19	18	18	18	18	19	20	22	23	25	26	26	1	18	27	9
NW	21	21	21	20	20	19	19	18	17	16	16	15	15	14	14	14	15	15	16	17	18	19	20	21	1	14	21	7
Paredes grupo B																												
N	15	14	14	13	12	11	11	10	9	9	9	8	9	9	9	10	11	12	13	14	14	15	15	15	24	8	15	7
NE	19	18	17	16	15	14	13	12	12	13	14	15	16	17	18	19	19	20	20	21	21	21	20	20	21	12	21	9
E	23	22	21	20	18	17	16	15	15	15	17	19	21	22	24	25	26	26	27	27	26	26	25	24	20	15	27	12
SE	23	22	21	20	18	17	16	15	14	14	15	16	18	20	21	23	24	25	26	26	26	26	25	24	21	14	26	12
S	21	20	19	18	17	15	14	13	12	11	11	11	11	12	14	15	17	19	20	21	22	22	22	21	23	11	22	11
SW	27	26	25	24	22	21	19	18	16	15	14	14	13	13	14	15	17	20	22	25	27	28	28	28	24	13	28	15
W	29	28	27	26	24	23	21	19	18	17	16	15	14	14	14	15	17	19	22	25	27	29	29	30	24	14	30	16
NW	23	22	21	20	19	18	17	15	14	13	12	12	12	11	12	12	13	15	17	19	21	22	23	23	24	11	23	12
Paredes grupo C																												
N	15	14	13	12	11	10	9	8	8	7	7	8	8	9	10	12	13	14	15	16	17	17	17	16	22	7	17	10
NE	19	17	16	14	13	11	10	10	11	13	15	17	19	20	21	22	22	23	23	23	23	22	21	20	20	10	23	13
E	22	21	19	17	15	14	12	12	14	16	19	22	25	27	29	29	30	30	30	29	28	27	26	24	18	12	30	18
SE	22	21	19	17	15	14	12	12	12	13	16	19	22	24	26	28	29	29	29	29	28	27	26	24	19	12	29	17
S	21	19	18	16	15	13	12	10	9	9	9	10	11	14	17	20	22	24	25	26	25	25	24	22	20	9	26	17
SW	29	27	25	22	20	18	16	15	13	12	11	11	11	13	15	18	22	26	29	32	33	33	32	31	22	11	33	22
W	31	29	27	25	22	20	18	16	14	13	12	12	12	13	14	16	20	24	29	32	35	35	35	33	22	12	35	23
NW	25	23	21	20	18	16	14	13	11	10	10	10	10	11	12	13	15	18	22	25	27	27	27	26	22	10	27	17
Paredes grupo D																												
N	15	13	12	10	9	7	6	6	6	6	6	7	8	10	12	13	15	17	18	19	19	19	18	16	21	6	19	13
NE	17	15	13	11	10	8	7	8	10	14	17	20	22	23	23	24	24	25	25	24	23	22	20	18	19	7	25	18
E	19	17	15	13	11	9	8	9	12	17	22	27	30	32	33	33	32	32	31	30	28	26	24	22	16	8	33	25
SE	20	17	15	13	11	10	8	8	10	13	17	22	26	29	31	32	32	32	31	30	28	26	24	22	17	8	32	24
S	19	17	15	13	11	9	8	7	6	6	7	9	12	16	20	24	27	29	29	29	27	26	24	22	19	6	29	23
SW	28	25	22	19	16	14	12	10	9	8	8	8	10	12	16	21	27	32	36	38	38	37	34	31	21	8	38	30
W	31	27	24	21	18	15	13	11	10	9	9	9	10	11	14	18	24	30	36	40	41	40	38	34	21	9	41	32
NW	25	22	19	17	14	12	10	9	8	7	7	8	9	10	12	14	18	22	27	31	32	32	30	27	22	7	32	25
Paredes grupo E																												
N	12	10	8	7	5	4	3	4	5	6	7	9	11	13	15	17	19	20	21	23	20	18	16	14	20	3	22	19
NE	13	11	9	7	6	4	5	9	15	20	24	25	25	26	26	26	26	26	25	24	22	19	17	15	16	4	26	22
E	14	12	10	8	6	5	6	11	18	26	33	36	38	37	36	34	33	32	30	28	25	22	20	17	13	5	38	33
SE	15	12	10	8	7	5	5	8	12	19	25	31	35	37	37	36	34	33	31	28	26	23	20	17	15	5	37	32
S	15	12	10	8	7	5	4	3	4	5	9	13	19	24	29	32	34	33	31	29	26	23	20	17	17	3	34	31
SW	22	18	15	12	10	8	6	5	5	6	7	9	12	18	24	32	38	43	45	44	40	35	30	26	19	5	45	40
W	26	21	17	14	11	9	7	6	6	6	7	9	11	14	20	27	36	43	49	49	45	40	34	29	20	6	49	43
NW	20	17	14	11	9	7	6	5	5	5	6	8	10	13	16	20	26	32	37	38	36	32	28	24	20	5	38	33
Paredes grupo F																												
N	8	6	5	3	2	1	2	4	6	7	9	11	14	17	19	21	22	23	24	23	20	16	13	11	19	1	24	23
NE	9	7	5	3	2	1	5	14	23	28	30	29	28	27	27	27	27	26	24	22	19	16	13	11	11	1	30	29
E	10	7	6	4	3	2	6	17	28	38	44	45	43	39	36	34	32	30	27	24	21	17	15	12	12	2	45	43
SE	10	7	6	4	3	2	4	10	19	28	36	41	43	42	39	36	34	31	28	25	21	18	15	12	13	2	43	41
S	10	8	6	4	3	2	1	1	3	7	13	20	27	34	38	39	38	35	31	26	22	18	15	12	16	1	39	38
SW	15	11	9	6	5	3	2	2	4	5	8	11	17	26	35	44	50	53	52	45	37	28	23	18	18	2	53	51
W	17	13	10	7	5	4	3	3	4	6	8	11	14	20	28	39	49	57	60	54	43	34	27	21	19	3	60	57
NW	14	10	8	6	4	3	2	2	3	5	8	10	13	15	21	27	35	42	46	43	35	28	22	18	19	2	46	44
Paredes grupo G																												
N	3	2	1	0	−1	2	7	8	9	12	15	18	21	23	24	24	25	26	22	15	11	9	7	5	18	−1	26	27
NE	3	2	1	0	−1	9	27	36	39	35	30	26	26	27	27	26	25	22	18	14	11	9	7	5	9	−1	39	40
E	4	2	1	0	−1	11	31	47	54	55	50	40	33	31	30	29	27	24	19	15	12	10	8	6	10	−1	55	56
SE	4	2	1	0	−1	5	18	32	42	49	51	48	42	36	32	30	27	24	19	15	12	10	8	6	11	−1	51	52
S	4	2	1	0	−1	0	1	5	12	22	31	39	45	46	43	37	31	25	20	15	12	10	8	5	14	−1	46	47
SW	5	4	3	1	0	0	2	5	8	12	16	26	38	50	59	63	61	52	37	24	17	13	10	8	16	0	63	63
W	6	5	3	2	1	1	2	5	8	11	15	19	27	41	56	67	72	67	48	29	20	15	11	8	17	1	72	71
NW	5	3	2	1	0	0	2	5	8	11	15	18	21	27	37	47	55	55	41	25	17	13	10	7	18	0	55	55

Fuente: (Pita, 1994)

Apéndice C. Descripción de grupos de construcción de paredes.

Grupo No.	Descripción de la construcción	Peso, lb/ft²	Valor de U, BTU/(h-ft²-°F)	Capacidad calorífica, BTU/(ft²-°F)
Ladrillo de vista de 4 in + (Ladrillo)				
C	Espacio de aire + ladrillo de vista de 3 in	83	0.358	18.3
D	Ladrillo común de 4 in	90	0.415	18.4
C	Aislamiento de 1 in o espacio de aire + ladrillo común de 4 in	90	0.174-0.301	18.4
B	Aislamiento de 2 in + ladrillo común de 4 in	88	0.111	18.5
B	Ladrillo común de 8 in	130	0.302	26.4
A	Aislamiento o espacio de aire + ladrillo común de 8 in	130	0.154-0.243	26.4
Ladrillo de vista de 4 in + *(Concreto pesado)*				
C	Espacio de aire + concreto de 2 in	94	0.350	19.7
B	Aislamiento de 2 in + concreto de 4 in	97	0.116	19.8
A	Espacio de aire o aislamiento + concreto de 8 in o más	143-190	0.110-0.112	29.1-38.4
Ladrillo de vista de 4 in + *(bloque de concreto ligero o pesado)*				
E	Bloque de 4 in	62	0.319	12.9
D	Espacio de aire o aislamiento + bloque de 4 in	62	0.153-0.246	12.9
D	Bloque de 8 in	70	0.274	15.1
C	Espacio de aire o aislamiento de 1 in + bloque de 6 u 8 in	73-89	0.221-0.275	15.5-18.5
B	Aislamiento de 2 in + bloque de 8 in	89	0.096-0.107	15.5-18.6
Ladrillo de vista de 4 in + *(azulejo de barro)*				
D	Azulejo de 4 in	71	0.381	15.1
D	Espacio de aire + azulejo de 4 in	71	0.281	15.1
C	Aislamiento + azulejo de 4 in	71	0.169	15.1
C	Azulejo de 8 in	96	0.275	19.7
B	Espacio de aire o aislamiento de 1 in + azulejo de 8 in	96	0.142-0.221	19.7
A	Aislamiento de 2 in + azulejo de 8 in	97	0.097	19.8
Pared de concreto pesado + *(acabado)*				
E	Concreto de 4 in	63	0.585	12.5
D	Concreto de 4 in + aislamiento de 1 o 2 in	63	0.119-0.200	12.5
C	Aislamiento de 2 in + concreto de 4 in	63	0.119	12.7
C	Concreto de 8 in	109	0.490	21.9
B	concreto de 8 in + aislamiento de 1 o 2 in	110	0.115-0.187	22.0
A	Aislamiento de 2 in + concreto de 8 in	110	0.115	21.9
E	Concreto de 12 in	156	0.421	31.2
A	Concreto de 12 in + aislamiento	156	0.113	31.3
Bloque de concreto ligero y pesado + *(acabado)*				
F	Bloque de 4 in + espacio de aire o aislamiento	29-36	0.161-0.263	5.7-7.2
E	Aislamiento de 2 in + bloque de 4 in	29-37	0.105-0.114	5.8-7.3
E	Bloque de 8 in	41-57	0.294-0.402	6.3-11.3
D	Concreto de 8 in + espacio de aire o aislamiento	41-57	0.149-0.173	8.3-11.3
Azulejo de barro + *(acabado)*				
F	Azulejo de 4 in	39	0.419	7.8
F	Azulejo de 4 in + espacio de aire	39	0.303	7.8
E	Azulejo de 4 in + aislamiento de 1 in	39	0.175	7.9
D	Aislamiento de 2 in + azulejo de 4 in	40	0.110	7.9
D	Azulejo de 8 in	63	0.296	12.5
C	Azulejo de 8 in + espacio de aire o aislamiento de 1 in	63	0.151-0.231	12.6
B	Aislamiento de 2 in + azulejo de 8 in	63	0.099	12.6
Pared de lámina *(cortina metálica)*				
G	Con o sin espacio de aire + 1, 2 o 3 in de aislamiento	5-6	0.091-0.230	0.7
Pared de bastidor				
G	Aislamiento de 1 a 3 in	16	0.081-0.178	3.2

Fuente: (Pita, 1994)

Apéndice D. Radiación solar a través de un vidrio. factores de ganancia máxima de calor solar para vidrio. BTU/ H FT2, Latitudes Norte.

0 Grados

	N	NNE/ NNW	NE/ NW	ENE/ WNW	E/ W	ESE/ WSW	SE/ SW	SEE/ SSW	S	HOR
En.	34	34	88	177	234	254	235	182	118	296
Feb.	36	39	132	205	245	247	210	141	67	306
Mar.	38	87	170	223	242	223	170	87	38	303
Abr.	71	134	193	224	221	184	118	38	37	284
May	113	164	203	218	201	154	80	37	37	265
Jun.	129	173	206	212	191	140	66	37	37	255
Jul.	115	164	201	213	195	149	77	38	38	260
Agos.	75	134	187	216	212	175	112	39	38	276
Sept.	40	84	163	213	231	213	163	84	40	293
Oct.	37	40	129	199	236	238	202	135	66	299
Nov.	35	35	88	175	230	250	230	179	117	293
Dic.	34	34	71	164	226	253	240	196	138	288

16 Grados

	N	NNE/ NNW	NE/ NW	ENE/ WNW	E/ W	ESE/ WSW	SE/ SW	SEE/ SSW	S	HOR
En.	30	30	55	147	21	244	251	223	199	248
Feb.	33	33	96	180	231	247	233	188	154	275
Mar.	35	53	140	205	239	235	197	138	93	291
Abr.	39	99	172	216	227	204	150	77	45	289
May	52	132	189	218	215	179	115	45	41	282
Jun.	66	142	194	217	207	167	99	41	41	277
Jul.	55	132	187	214	210	174	111	44	42	277
Agos.	41	100	168	209	219	196	143	74	46	282
Sept.	36	50	134	196	227	224	191	134	93	282
Oct.	33	33	95	174	223	237	225	183	150	270
Nov.	30	30	55	145	206	241	247	220	196	246
Dic.	29	29	41	132	198	241	254	233	212	234

8 Grados

	N	NNE/ NNW	NE/ NW	ENE/ WNW	E/ W	ESE/ WSW	SE/ SW	SEE/ SSW	S	HOR
En.	32	32	71	163	224	250	242	203	162	275
Feb.	34	34	114	193	239	248	219	165	110	294
Mar.	37	67	156	215	241	230	184	110	55	300
Abr.	44	117	184	221	225	195	134	53	39	289
May	74	146	198	220	209	167	97	39	38	277
Jun.	90	155	200	217	200	141	82	39	39	269
Jul.	77	145	195	215	204	162	93	40	39	272
Agos.	47	117	179	214	216	186	128	51	41	282
Sept.	38	66	149	205	230	219	176	107	56	290
Oct.	35	35	112	187	231	239	211	160	108	288
Nov.	33	33	71	161	220	245	233	200	160	273
Dic.	31	31	55	149	215	246	247	215	179	265

24 Grados

	N	NNE/ NNW	NE/ NW	ENE/ WNW	E/ W	ESE/ WSW	SE/ SW	SEE/ SSW	S	HOR
En.	27	27	41	128	190	240	253	241	227	214
Feb.	30	30	80	165	220	244	243	213	192	249
Mar.	34	45	124	195	234	237	214	168	137	275
Abr.	37	88	159	209	228	212	169	107	75	283
May	43	117	178	214	218	190	132	67	46	282
Jun.	55	127	184	214	212	179	117	55	43	279
Jul.	45	116	176	210	213	185	129	65	46	278
Agos.	38	87	156	203	220	204	162	103	72	277
Sept.	35	42	119	185	222	225	206	163	134	266
Oct.	31	31	79	159	211	237	235	207	187	244
Nov.	27	27	42	126	187	236	249	237	224	213
Dic.	26	26	29	1112	180	234	247	247	237	199

Apéndice E. Continuación.

32 Grados

	N (Sombra)	NNE/ NNW	NE/ NW	ENE/ WNW	E/ W	ESE/ WSW	SE/ SW	SEE/ SSW	S	HOR
En.	24	24	29	105	175	229	249	250	246	176
Feb.	27	27	65	149	205	242	248	232	221	217
Mar.	32	37	107	183	227	237	227	195	176	252
Abr.	36	80	146	200	227	219	187	141	115	271
May	38	111	170	208	220	199	155	99	74	277
Jun.	44	122	176	208	214	189	139	83	60	276
Jul.	40	111	167	20-4	215	194	150	96	72	273
Agos.	37	79	141	195	219	210	181	136	111	265
Sept.	33	35	103	173	215	227	218	189	171	244
Oct.	28	28	63	143	195	234	239	225	215	213
Nov.	24	24	29	103	173	225	245	246	243	175
Dic.	22	22	22	84	162	218	246	252	252	158

48 Grados

	N (Sombra)	NNE/ NNW	NE/ NW	ENE/ WNW	E/ W	ESE/ WSW	SE/ SW	SEE/ SSW	S	HOR
En.	15	15	15	53	118	175	216	239	245	85
Feb.	20	20	36	103	168	216	242	249	250	138
Mar.	26	26	80	154	204	234	239	232	228	188
Abr.	31	61	132	180	219	225	215	194	186	226
May	35	97	158	200	218	214	192	163	150	247
Jun.	46	110	165	204	215	206	180	148	134	252
Jul.	37	96	156	196	214	209	187	158	146	244
Agos.	33	61	128	174	211	216	208	188	180	223
Sept.	27	27	72	144	191	223	228	223	220	182
Oct.	21	21	35	96	161	207	233	241	242	136
Nov.	15	15	15	52	115	172	212	234	240	85
Dic.	13	13	13	36	91	156	195	225	233	65

40 Grados

	N (Sombra)	NNE/ NNW	NE/ NW	ENE/ WNW	E/ W	ESE/ WSW	SE/ SW	SEE/ SSW	S	HOR
En.	20	20	20	74	154	205	241	252	254	133
Feb.	24	24	50	129	186	234	246	244	241	180
Mar.	29	29	93	169	218	238	236	216	206	223
Abr.	34	71	140	190	224	223	203	170	154	252
May	37	102	165	202	220	208	175	133	113	265
Jun.	48	113	172	205	216	199	161	116	95	267
Jul.	38	102	163	198	216	203	170	129	109	262
Agos.	35	71	135	185	216	214	196	165	149	247
Sept.	30	30	87	160	203	227	226	209	200	215
Oct.	25	25	49	123	180	225	238	236	234	177
Nov.	20	20	20	73	151	201	237	248	250	132
Dic.	18	18	18	60	135	188	232	249	253	113

56 Grados

	N (Sombra)	NNE/ NNW	NE/ NW	ENE/ WNW	E/ W	ESE/ WSW	SE/ SW	SEE/ SSW	S	HOR
En.	10	10	10	21	74	126	169	194	205	40
Feb.	16	16	21	71	139	184	223	239	244	91
Mar.	22	22	65	136	185	224	238	241	241	149
Abr.	28	58	123	173	211	223	223	213	210	195
May	36	99	149	195	215	218	206	187	181	222
Jun.	53	111	160	199	213	213	196	174	168	231
Jul.	37	98	147	192	211	214	201	183	177	221
Agos.	30	56	119	165	203	216	215	206	203	193
Sept.	23	23	58	126	171	211	227	230	231	144
Oct.	16	16	20	68	132	176	213	229	234	91
Nov.	10	10	10	21	72	122	165	190	200	40
Dic.	7	7	7	7	47	92	135	159	171	23

Fuente: (Pita, 1994)

Apéndice F. Coeficientes de sombreado para vidrio con o sin sombreado interior por persianas venecianas enrollables.

	Tipo de vidrio	Espesor nominal de cada vidrio claro[a]	Transmisión solar[b]	Sin sombreado interior	Tipo de sombreado interior				
					Persianas venecianas		Persianas enrollables		
							Opacas	Translúcidas	
				h_o = 4.0	Medio	Claro	Oscuro	Claro	Claro
VIDRIO SENCILLO	Sencillo								
	Claro	3/32 a 1/4	0.87-0.80	1.00					
	Claro	1/4 a 1/2	0.80-0.71	0.94					
	Claro	3/8	0.72	0.90	0.64	0.55	0.59	0.25	0.39
	Claro	1/2	0.67	0.87					
	Claro con figuras	1/8 a 9/32	0.87-0.79	0.83					
	Absorbente de calor, con figuras[c]	1/8		0.83					
	Absorbente de calor[e]	3/16 a 1/4	0.46	0.69					
	Absorbente de calor, con figuras	3/16 a 1/4		0.69	0.57	0.53	0.45	0.30	0.36
	Coloreado	1/8 a 7/32	0.59-0.45	0.69					
	Absorbente de calor, o con figuras		0.44-0.30	0.60	0.54	0.52	0.40	0.28	0.32
	Absorbente de calor[e]	3/8	0.34	0.60					
	Absorbente de calor, o con figuras	1/2	0.44-0.30	0.53	0.42	0.40	0.36	0.28	0.31
			0.24						
	Vidrio recubierto reflector			0.30	0.25	0.23			
				0.40	0.33	0.29			
				0.50	0.42	0.38			
				0.60	0.50	0.44			
VIDRIO AISLANTE	Doble[d]								
	Claro afuera	3/32, 1/8	0.71[a]	0.88	0.57	0.51	0.60	0.25	0.37
	Claro adentro								
	Claro afuera	1/4	0.61[a]	0.81					
	Claro adentro								
	Absorbente de calor afuera	1/4	0.36[a]	0.55					
	Claro adentro				0.39	0.36	0.40	0.22	0.30
	Vidrio recubierto reflector			0.20	0.19	0.18			
				0.30	0.27	0.26			
				0.40	0.34	0.33			
	Triple								
	Claro	1/4		0.71					
	Claro	1/8		0.80					

Apéndice G. Continuación.

Ventana viendo hacia él	Construcción del recinto	Hora solar, h																						
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
N	L	0.07	0.05	0.04	0.04	0.05	0.70	0.65	0.65	0.74	0.81	0.87	0.91	0.91	0.88	0.84	0.77	0.80	0.92	0.27	0.19	0.15	0.12	0.10	0.08
	M	0.08	0.07	0.06	0.06	0.07	0.73	0.66	0.65	0.73	0.80	0.86	0.89	0.89	0.86	0.82	0.75	0.78	0.91	0.24	0.18	0.15	0.13	0.11	0.09
	H	0.09	0.09	0.08	0.07	0.09	0.75	0.67	0.66	0.74	0.80	0.86	0.89	0.88	0.85	0.80	0.73	0.76	0.88	0.23	0.17	0.14	0.13	0.11	0.10
NE	L	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.55	0.76	0.75	0.60	0.39	0.31	0.28	0.27	0.25	0.23	0.20	0.16	0.12	0.06	0.05	0.04	0.03	0.02	0.02
	M	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.56	0.76	0.74	0.58	0.37	0.29	0.27	0.26	0.24	0.22	0.20	0.16	0.12	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03
	H	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.57	0.77	0.74	0.58	0.36	0.28	0.26	0.25	0.23	0.21	0.19	0.16	0.11	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04
E	L	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.45	0.71	0.80	0.77	0.64	0.43	0.29	0.25	0.23	0.20	0.17	0.14	0.10	0.06	0.05	0.04	0.03	0.02	0.02
	M	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.47	0.72	0.80	0.76	0.62	0.41	0.27	0.24	0.22	0.20	0.17	0.14	0.11	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03
	H	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.48	0.72	0.80	0.75	0.61	0.40	0.25	0.22	0.21	0.19	0.16	0.14	0.10	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04
SE	L	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.29	0.56	0.74	0.82	0.81	0.70	0.52	0.35	0.30	0.26	0.22	0.18	0.13	0.08	0.06	0.05	0.04	0.03	0.03
	M	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.30	0.56	0.74	0.81	0.79	0.68	0.49	0.33	0.28	0.25	0.22	0.18	0.13	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.04
	H	0.04	0.04	0.04	0.03	0.04	0.31	0.57	0.74	0.81	0.79	0.67	0.48	0.31	0.27	0.23	0.20	0.17	0.13	0.07	0.07	0.06	0.05	0.05	0.05
S	L	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.08	0.15	0.22	0.37	0.58	0.75	0.84	0.82	0.71	0.53	0.37	0.29	0.20	0.11	0.09	0.07	0.06	0.05	0.04
	M	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.09	0.16	0.22	0.38	0.58	0.75	0.83	0.80	0.68	0.50	0.35	0.27	0.19	0.11	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05
	H	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04	0.11	0.17	0.24	0.39	0.59	0.75	0.82	0.79	0.67	0.49	0.33	0.26	0.18	0.10	0.08	0.07	0.06	0.06	0.05
SW	L	0.05	0.04	0.03	0.02	0.02	0.06	0.10	0.13	0.16	0.18	0.22	0.38	0.59	0.76	0.84	0.83	0.72	0.48	0.18	0.13	0.11	0.08	0.07	0.06
	M	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.07	0.11	0.14	0.16	0.19	0.22	0.38	0.59	0.75	0.83	0.81	0.69	0.45	0.15	0.12	0.10	0.08	0.07	0.06
	H	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04	0.08	0.12	0.15	0.18	0.20	0.23	0.39	0.59	0.75	0.82	0.80	0.68	0.43	0.14	0.11	0.09	0.08	0.07	0.06
W	L	0.05	0.04	0.03	0.02	0.02	0.05	0.08	0.11	0.13	0.14	0.15	0.17	0.30	0.53	0.72	0.83	0.83	0.63	0.19	0.14	0.11	0.08	0.07	0.06
	M	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.06	0.09	0.11	0.13	0.15	0.16	0.17	0.31	0.53	0.72	0.82	0.81	0.61	0.16	0.12	0.10	0.08	0.07	0.06
	H	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04	0.07	0.10	0.12	0.14	0.16	0.17	0.18	0.31	0.54	0.71	0.81	0.80	0.59	0.15	0.11	0.09	0.07	0.06	0.06
NW	L	0.04	0.04	0.03	0.02	0.02	0.06	0.10	0.13	0.16	0.19	0.20	0.21	0.22	0.30	0.52	0.73	0.83	0.71	0.19	0.13	0.10	0.08	0.07	0.05
	M	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.07	0.11	0.14	0.17	0.19	0.20	0.21	0.22	0.30	0.52	0.73	0.82	0.69	0.16	0.12	0.09	0.08	0.07	0.06
	H	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.08	0.12	0.15	0.18	0.20	0.21	0.22	0.23	0.30	0.52	0.73	0.81	0.67	0.15	0.11	0.08	0.07	0.06	0.05
HORA	L	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.10	0.26	0.43	0.59	0.72	0.81	0.87	0.87	0.83	0.74	0.60	0.44	0.27	0.15	0.12	0.09	0.08	0.06	0.05
	M	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.12	0.27	0.44	0.59	0.72	0.81	0.85	0.85	0.81	0.71	0.58	0.42	0.25	0.14	0.12	0.10	0.08	0.07	0.06
	H	0.06	0.06	0.06	0.05	0.05	0.13	0.29	0.45	0.60	0.72	0.81	0.85	0.84	0.79	0.70	0.56	0.40	0.23	0.13	0.11	0.09	0.08	0.08	0.07

L = Construcción ligera: Pared exterior de bastidores, losa de piso de concreto de 2 in, con aprox. 30 lb de material/ft² de piso.
M = Construcción media: Pared exterior de concreto de 4 in, losa de piso de concreto de 4 in, con aprox. 70 lb de material de construcción por ft² de piso.
H = Construcción pesada: Pared exterior de concreto de 6 in, losa de piso de concreto de 6 in, con aprox. 130 lb de material de construcción por ft² de piso.

Fuente: (Pita, 1994)

Apéndice H. Sombreado por proyecciones superiores.

Latitud	24°				32°				40°				48°				56°			
Hora oficial	9 am	Medio-día	3 pm	6 pm	9 am	Medio-día	3 pm	6 pm	9 am	Medio-día	3 pm	6 pm	9 am	Medio-día	3 pm	6 pm	9 am	Medio-día	3 pm	6 pm
Orientación N	—	—	—	.58	—	—	—	.63	—	—	—	.83	—	—	—	1.37	—	—	—	1.61
NE	1.89	—	—	—	2.17	—	—	—	2.13	—	—	—	3.03	—	—	—	3.45	—	—	—
E	1.00	—	—	—	.97	—	—	—	.89	—	—	—	.83	—	—	—	.74	—	—	—
SE	.93	4.55	—	—	1.00	3.33	—	—	.86	2.33	—	—	.73	1.67	—	—	.61	1.33	—	—
S	4.35	3.57	4.35	—	2.63	2.38	2.63	—	1.85	1.59	1.85	—	1.33	1.19	1.33	—	1.08	.93	1.08	—
SW	—	4.55	.93	—	—	3.33	1.00	—	—	2.33	.86	—	—	1.67	.73	—	—	1.33	.61	—
W	—	—	1.00	•	—	—	.97	•	—	—	.89	•	—	—	.83	•	—	—	.74	•
NW	—	—	1.89	•	—	—	2.17	•	—	—	2.13	•	—	—	3.03	•	—	—	3.45	•

Fuente: (Pita, 1994)

Apéndice I. Tasas de ganancias de calor de los ocupantes de recinto acondicionado.

		Calor total por adulto masculino			calor total ajustado[b]			Calor sensible			Calor latente		
Actividad	Aplicaciones típicas	Watts	Btuh	kcal/h	Watts	Btuh	kcal/h	Watts	Btuh	kcal/h	Watts	Btuh	kcal/h
Sentado en reposo	Teatro, cine	115	400	100	100	350	90	60	210	55	40	140	30
Sentado, trabajo muy ligero, escritura	Oficinas, hoteles, apartamentos	140	480	120	120	420	105	65	230	55	55	190	50
Sentado, comiendo	Restaurante	150	520	130	170	580[c]	145	75	255	60	95	325	80
Sentado, trabajo ligero, mecanografía	Oficinas, hoteles, apartamentos	185	640	160	150	510	130	75	255	60	75	255	65
Parado, trabajo ligero o camina despacio	Tiendas minoristas, bancos	235	800	200	185	640	160	90	315	80	95	325	80
Trabajo ligero de banco	Fábricas	255	880	220	230	780	195	100	345	90	130	435	110
Caminando 3 mph trabajo libro trabajo con máquinas pesadas	Fábricas	305	1040	260	305	1040	260	100	345	90	205	695	170
Boliche		350	1200	300	280	960	240	100	345	90	180	615	150
Baile moderado	Salón de baile	400	1360	340	375	1280	320	120	405	100	255	875	220
Trabajo pesado, trabajo con máquinas pesadas, levantar pesas	Fábricas	470	1600	400	470	1600	400	165	565	140	300	1035	260
Trabajo pesado, ejercicios atléticos	Gimnasios	585	2000	500	525	1800	450	185	635	160	340	1165	290

[a] Nota: Los valores de la tabla se basan en una temperatura de bulbo seco de 78°F. Para 80°F BS, el calor total queda igual, pero el valor del calor sensible se debe disminuir en aproximadamente 8% y los valores del calor latente se deben aumentar proporcionalmente.

[b] La ganancia total ajustada de calor se basa en el porcentaje normal de hombres, mujeres y niños en la aplicación que se menciona, bajo la hipótesis de que la ganancia por mujer adulta representa un 85% de la del hombre adulto, y la de un niño el 75%.

[c] Calor total ajustado para comer en un restaurant, que incluye 60 BTU/h del alimento por individuo (30 BTU sensibles y 30 BTU latentes).

[d] Para el boliche, se considera una persona por pista tirando y las demás sentadas (400 BTU/h) o paradas y caminando lentamente (970 BTU/h)

Fuente: (Pita, 1994)

Apéndice J. Factores de calor sensible ara cargas de enfriamiento debido a personas.

Horas totales en el recinto	Horas después de cada entrada al recinto																						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
2	0.49	0.58	0.17	0.13	0.10	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
4	0.49	0.59	0.66	0.71	0.27	0.21	0.16	0.14	0.11	0.10	0.08	0.07	0.06	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.01
6	0.50	0.60	0.67	0.72	0.76	0.79	0.34	0.26	0.21	0.18	0.15	0.13	0.11	0.10	0.08	0.07	0.06	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03
8	0.51	0.61	0.67	0.72	0.76	0.80	0.82	0.84	0.38	0.30	0.25	0.21	0.18	0.15	0.13	0.12	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.05	0.04
10	0.53	0.62	0.69	0.74	0.77	0.80	0.83	0.85	0.87	0.89	0.42	0.34	0.28	0.23	0.20	0.17	0.15	0.13	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06
12	0.55	0.64	0.70	0.75	0.79	0.81	0.84	0.86	0.88	0.89	0.91	0.92	0.45	0.36	0.30	0.25	0.21	0.19	0.16	0.14	0.12	0.11	0.09	0.08
14	0.58	0.66	0.72	0.77	0.80	0.83	0.85	0.87	0.89	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94	0.47	0.38	0.31	0.26	0.23	0.20	0.17	0.15	0.13	0.11
16	0.62	0.70	0.75	0.79	0.82	0.85	0.87	0.88	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.95	0.96	0.49	0.39	0.33	0.28	0.24	0.20	0.18	0.16
18	0.66	0.74	0.79	0.82	0.85	0.87	0.89	0.90	0.92	0.93	0.94	0.94	0.95	0.96	0.96	0.97	0.97	0.97	0.50	0.40	0.33	0.28	0.24	0.21

Fuente: (Pita, 1994)

Apéndice K. Ganancias de calor debido a aparatos domésticos, BTU/h.

TIPO DE APARATO	ELÉCTRICOS				DE GAS				DE VAPOR			
	Sin campana			Con campana[2]	Sin campana			Con campana[2]	Sin campana			Con campana[2]
	Sensible	Latente	Total	100% Sensible	Sensible	Latente	Total	100% Sensible	Sensible	Latente	Total	100% Sensible
Parrilla o asador de 31 in x 20 in x 18 in					11,700	6,300	18,000	3,600				
Cafetera y calentador de café					1,750	750	2,500	500				
por quemador	770	230	1,000	340								
por calentador	230	70	300	90								
Cafetera												
de 3 galones	2,550	850	3,400	1,000	3,500	1,500	5,000	1,000	2,180	1,120	3,300	1,000
de 5 galones	3,850	1,250	5,100	1,600	5,250	2,250	7,500	1,500	3,300	1,700	5,000	1,600
de 8 galones (gemelas)	5,200	1,600	6,800	2,100	7,000	3,000	10,000	2,000	4,350	2,250	6,600	2,100
Freidor de grasa:												
grasa # 15	2,800	6,600	9,400	3,000	7,500	7,500	15,000	3,000				
grasa # 21	4,100	9,600	13,700	4,300								
Calentador de platillos secos por pie cuadrado departe superior	320	80	400	130	560	140	700	140				
Plancha de freir por pie cuadrado de parte superior	3,000	1,600	4,600	1,500	4,900	2,600	7,500	1,500				
Comal (dos unidades de calentamiento)					5,300	3,600	8,900	2,800				
Estufa de órdenes rápidos (parrillas abiertas) por quemador					3,200	1,800	5,000	1,000				
Mesa de vapor, por pie cuadrado					750	500	1,250	250	500	325	825	260
Testador:												
Continuo												
360 rebanadas por hora	1,960	1,740	3,700	1,200	3,600	2,400	6,000	1,200				
720 rebanadas por hora	2,700	2,400	5,100	1,600	6,000	4,000	10,000	2,000				
Con expulsor de 4 rebanadas	2,230	1,970	4,200	1,300								
Waflera de 18 in x 20 in x 13 in (2 parrillas)	1,680	1,120	2,800	900								
Secadora de pelo:												
Tipo ventilador	2,300	400	2,700									
Tipo casco	1,870	330	2,200									
Mecheros de laboratorio:												
De Bunsen					1,680	420	2,100					
Cola de pescado					2,800	700	3,500					
De Meeker					3,360	840	4,200					
Anuncios de neón, por pie de tubo	60		60									
Esterilizador	650	1,200	1,850									
Máquinas expendedoras:												
De bebidas calientes			1,200									
De bebidas frías			625									

Fuente: (Pita, 1994)

Apéndice L. Producción de calor de equipo motorizado, BTU/H.

Potencia del motor	ubicación del equipo con respecto a la corriente de aire o al espacio acondicionado		
	Motor y máquina dentro	Motor fuera, dentro máquina	Motor dentro, máquina fuera
1/8	580	320	260
1/6	710	430	280
1/4	1,000	640	360
1/3	1,290	850	440
1/2	1,820	1,280	540
3/4	2,680	1,930	750
1	3,220	2,540	680
1-1/2	4,770	3,820	950
2	6,380	5,100	1,280
3	9,460	7,650	1,800
5	15,800	12,800	2,800
7-1/2	22,500	19,100	3,400
10	30,000	25,500	4,500
15	44,500	38,200	6,300
20	58,500	51,000	7,500
25	72,400	63,800	8,800

Fuente: (Pita, 1994)

Apéndice M. Requisitos de ventilación para ocupantes.

	Personas estimadas por 100 ft² de área de piso	Aire de ventilación necesario por persona	
		FCM Mínimos	FCM Recomendados
RESIDENCIAL			
Viviendas de una unidad			
Salas y recámaras	5	5	7–10
Cocinas, baños	–	20	30–50
Viviendas de unidades múltiples			
Salas y recámaras	7	5	7–10
Cocinas, baños	–	20	30–50
COMERCIAL			
Sanitarios públicos	100	15	20–25
Comercios			
Pisos de venta (sótanos y plantas bajas)	30	7	10–15
Pisos de venta (pisos superiores)	20	7	10–15
Comedores	70	10	15–20
Cocinas	20	30	35
Cafeterías	100	30	35
Hoteles, moteles			
Recámaras	5	7	10–15
Salas	20	10	15–20
Baños	–	20	30–50
Salas de belleza	50	25	30–35
Peluquerías	25	7	10–15
Estacionamientos	–	1.5	2–3
Teatros			
Vestíbulos	150	20	25–30
Auditorios (no se fuma)	150	5	5–10
Auditorios (permitido fumar)	150	10	10–20
Boliches, zona de asientos	70	15	20–25
Gimnasios y arenas			
Pisos de ejercicios	70	20	25–30
Vestidores	20	30	40–50
Áreas de público	150	20	25–30
Piscinas	25	15	20–25
Oficinas			
Espacio de oficinas en general	10	15	15–25
Salas de juntas	60	25	30–40
INSTITUCIONAL			
Escuelas			
Salones de clase	50	10	10–15
Auditorios	150	5	5–7.5
Gimnasios	70	20	25–30
Bibliotecas	20	7	10–12
Vestidores	20	30	40–50
Hospitales			
Recámaras sencillas y dobles	15	10	15–20
Guarderías	20	10	15–20
Salas de cirugía, salas de parto	–	20	–

Fuente: (Pita, 1994)

Apéndice N. Temperatura de bulbo seco y bulbo húmedo relacionado para diseño de sistema de enfriamiento.

Ciudad	LAT g,min.		LONG g,min.		ELEV	BS de diseño (2.5%) En	Feb	Mar	Abr	May	Oct	Nov	Dic	BH relacionado de diseño (2.5%) En	Feb	Mar	Abr	May	Oct	Nov	Dic
Birmington, Al	33	34	86	45	630	67	72	76	83	91	84	74	68	62	63	64	67	71	69	64	60
Yuma, Az	32	40	114	36	206	76	82	87	96	99	99	85	75	54	57	58	61	63	66	58	54
Little Rock, Ar	34	44	92	14	265	68	70	76	83	89	84	74	67	63	61	64	67	72	71	65	61
Arcata, Ca	40	59	124	6	217	61	60	59	59	62	66	63	59	53	54	53	54	57	58	56	55
Bishop, Ca	37	22	118	22	4112	60	66	72	81	88	85	72	64	43	45	48	52	57	55	49	45
Los Angeles, Ca	33	56	118	23	122	72	71	72	74	74	80	79	74	54	55	55	61	61	63	56	53
San Diego, Ca	32	44	117	10	37	69	69	70	73	72	79	74	71	53	56	56	60	60	64	55	54
Colorado Springs	38	49	104	42	6170	56	61	63	73	79	77	64	59	39	43	43	47	52	50	44	40
Wilmington, De	39	40	75	36	78	50	55	63	78	84	78	65	55	48	52	54	64	70	69	60	51
Jacksonville, Fl	30	25	81	39	24	75	80	83	86	93	86	81	75	66	68	68	69	73	74	69	67
Augusta, Ga	33	32	81	58	182	70	73	78	85	91	84	77	71	62	63	66	68	73	71	65	63
Boise, Id	43	34	116	13	2857	51	53	62	72	83	74	59	48	44	46	49	53	62	55	48	43
Chicago-OHare, Il	41	59	87	54	667	40	49	58	74	83	78	64	50	45	47	52	63	68	66	56	49
Fort Wayne, In	41	0	85	12	828	47	52	60	76	82	78	63	53	57	70	53	62	68	63	58	51
Indianapolis, In	39	44	86	16	793	53	57	64	78	82	79	66	55	52	54	57	64	68	65	59	53
Des Moines, Ia	41	32	93	39	963	42	49	59	76	84	79	63	52	39	44	49	62	69	64	55	48
Dodge City, Ks	37	46	99	58	2592	58	64	72	82	89	83	68	59	46	49	51	58	64	60	52	45
Covington, Ky	39	4	84	40	888	55	61	65	79	84	79	68	58	53	56	55	64	70	64	59	53
Louisville, Ky	38	11	85	44	488	58	63	69	82	88	81	71	61	56	57	59	66	72	67	61	57
Lake Charles, La	30	13	93	9	32	72	75	78	84	89	88	79	74	67	68	69	70	75	74	73	68
New Orleans, La	29	59	90	15	20	74	77	79	84	89	86	79	74	69	70	70	72	74	75	72	69
Portland, Me	43	39	70	19	61	41	44	49	62	77	69	58	48	33	43	44	53	64	60	55	47
Battle Creek, Mi	42	18	85	14	939	49	48	64	72	86	77	62	49	50	45	57	59	66	64	55	49
Minneapolis, Mn	44	53	93	15	838	36	42	52	73	83	76	57	43	34	39	45	58	65	62	52	43
Jackson, Ms	32	20	90	13	332	70	74	78	84	89	87	77	70	64	65	67	70	73	72	6	63
Kansas City, Mo	39	7	94	35	750	54	60	69	81	87	83	69	58	49	51	55	65	71	67	57	62
Sprinfield, Mo	37	14	93	23	1270	59	62	72	80	84	83	69	59	54	54	59	65	70	66	60	53
Billings, Mt	45	48	108	32	3583	51	54	62	70	80	77	59	52	41	44	47	52	59	56	47	41
North Platte, Ne	41	8	100	42	2787	52	58	64	77	83	80	64	54	42	45	49	56	63	57	49	43
Tonopah, Ne	38	4	117	8	5422	53	58	65	75	81	78	64	55	40	43	45	49	54	52	46	41
Albuquerque, NM	35	3	106	37	5314	55	63	69	79	87	79	64	56	42	45	47	51	56	55	46	42
Albany, N.Y.	42	45	73	48	277	43	47	54	73	81	73	60	49	42	45	49	59	67	65	58	46
Greensboro, NC	36	5	79	57	891	63	64	70	83	87	81	71	63	57	56	59	65	70	68	59	58
Bismarck, ND	46	46	100	45	1660	41	42	56	70	82	77	53	43	37	39	46	53	62	57	43	38
Akron-Canton, Oh	40	55	81	26	1236	49	53	60	74	79	75	64	54	48	50	53	63	67	62	57	52
Toledo, Oh	41	36	83	48	692	44	48	59	76	84	77	64	52	42	46	53	63	69	63	58	51
Tulsa, Ok	36	11	95	54	674	63	69	75	83	88	86	73	63	57	58	60	66	73	69	61	53
Medford, Or	42	23	122	52	1329	55	59	66	75	84	78	63	53	48	50	53	58	64	60	52	49
Portland, Or	45	36	122	36	24	54	57	60	69	79	73	59	54	50	51	51	56	63	59	54	53
Pittsburgh, Pa	40	30	80	13	1151	49	53	63	78	82	77	64	55	46	50	53	63	68	64	57	51
Sioux Falls, SD	43	34	96	44	1422	41	45	57	75	84	78	58	47	37	41	48	58	65	60	49	43
Bristol, Tn	36	30	82	21	1566	59	64	69	81	86	79	70	60	54	55	58	64	70	66	61	54
Amarillo, Tx	35	14	101	46	3700	63	69	75	84	90	84	70	65	46	50	51	56	61	59	50	47
Midland, Tx	31	56	102	12	2858	72	74	81	88	94	88	77	71	53	54	55	59	65	63	56	52
Wichita Falls, Tx	33	59	98	31	1039	66	74	82	88	93	89	76	67	56	58	61	66	71	67	60	54
Cedar City, Ut	37	42	113	6	5616	53	56	63	73	81	78	63	54	41	44	46	50	55	53	46	42
Burlington, Vt	44	28	73	9	331	39	40	49	68	79	70	58	46	38	38	44	56	66	61	55	44
Blackstone, Va	37	4	77	58	438	65	64	71	83	87	82	72	65	59	56	61	67	72	70	61	60
Roanoke, Va	37	19	79	58	1174	60	63	69	82	87	81	69	62	54	52	56	63	69	66	56	55
Everett, Wa	47	54	122	17	596	50	54	61	64	72	64	54	53	47	49	49	55	61	58	52	49
Charleston, WV	38	22	81	36	989	62	64	70	83	86	80	72	64	55	55	56	64	67	66	60	55
Huntington, WV	38	25	82	27	565	65	65	72	83	87	84	71	63	58	56	60	66	70	69	60	57
Green Bay, Wi	44	29	88	8	699	36	39	48	70	77	69	58	42	36	39	44	57	65	60	54	41
Madison, Wi	43	8	89	20	866	38	44	53	73	81	74	61	44	37	42	47	60	68	62	55	43
Cheyenne, Wy	41	9	104	49	6144	51	56	58	69	76	74	60	54	37	41	41	48	52	50	43	41

Fuente: (Pita, 1994)

Apéndice O. Especificaciones técnicas de evaporadora tipo Piso Techo de 25,000 BTU o 2 Toneladas.

SUBMITTAL DATA - INDOOR UNIT
VEUM024N432U
VRF UNIVERSAL MOUNTED TYPE EVAPORATOR

Job Name:	Engineer:
Location:	Architect:
Schedule No.:	Date:
System Designation:	For: ___ Reference ___ Approval ___ Review ___ Construction

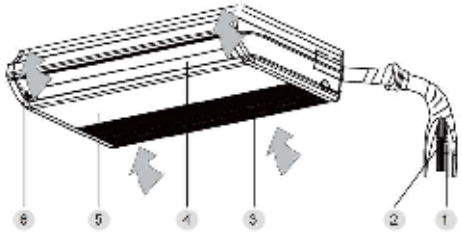
FEATURES

- Auto Addressing installation
- Auto Restart
- Auto Swing Louvers
- Built-in Electronic Expansion Valve
- LED Display
- Washable Filter
- Anti-Freezing Protection
- Enameled finish

PRODUCT WARRANTY
All covered components - one year limited warranty

SPECIFICATIONS

PERFORMANCE		
Cooling Capacity* (Btu/h)		24,230
Heating Capacity* (Btu/h)		27,300
Airflow (CFM)	High	825
	Medium	677
	Low	590
Sound Pressure Level (dBA)	H / M / L	44/42/39
ELECTRICAL DATA		
Power Supply (V / Hz / Ph)		220-240/50/1 - 208-230/60/1
MOP (A)		6
Rated Current (A)	Cooling	0.38
	Heating	0.38
DIMENSIONS		
Unit Dimensions (in)	Height	27 1/2
	Width	56
	Depth	9 1/2
Liquid Pipe Connection (in)		3/8
Gas Pipe Connection (in)		5/8
Shipping Weight (lb)		128
Net Weight (lb)		110.2



1. Drain Hose
2. Pipe Connection
3. Air Inlet Grill (Air Filter inside)
4. Swing Louvers
5. Front Panel
6. Display LED

NOTES:
*Cooling and Heating Capacity data is rated at the following conditions:
Cooling: 80 °F DB / 67 °F WB Indoor, 95 °F DB Outdoor
Heating: 70 °F DB Indoor, 47 °F DB

NOTE – Due to Lennox' ongoing commitment to quality, Specifications, Ratings and Dimensions subject to change without notice and without incurring liability. Improper installation, adjustment, alteration, service or maintenance can cause property damage or personal injury. Installation and service must be performed by a qualified installer and servicing agency. ©2015 Lennox Industries Inc.

Submittal Rev-E-1215

Fuente: página oficial de Lennox®

Apéndice P. Especificaciones técnicas de evaporadora tipo Piso Techo de 38,000 BTU o 3.17 Toneladas.

SUBMITTAL DATA - INDOOR UNIT
VEUM038N432U
VRF UNIVERSAL MOUNTED TYPE EVAPORATOR

Job Name:	Engineer:
Location:	Architect:
Schedule No.:	Date:
System Designation:	For: ___ Reference ___ Approval ___ Review ___ Construction

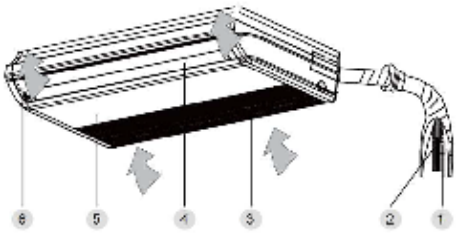
FEATURES

- Auto Addressing installation
- Auto Restart
- Auto Swing Louvers
- Built-in Electronic Expansion Valve
- LED Display
- Washable Filter
- Anti-Freezing Protection
- Enameled finish

PRODUCT WARRANTY
All covered components - one year limited warranty

SPECIFICATIONS

PERFORMANCE		
Cooling Capacity* (Btu/h)		38,210
Heating Capacity* (Btu/h)		42,650
Airflow (CFM)	High	1175
	Medium	1059
	Low	853
Sound Pressure Level (dBA)	H / M / L	51/47/42
ELECTRICAL DATA		
Power Supply (V / Hz / Ph)		220-240/50/1 - 208-230/60/1
MOP (A)		6
Rated Current (A)	Cooling	0.95
	Heating	0.95
DIMENSIONS		
Unit Dimensions (in)	Height	27 1/2
	Width	67
	Depth	9 1/2
Liquid Pipe Connection (in)		3/8
Gas Pipe Connection (in)		5/8
Shipping Weight (lb)		150
Net Weight (lb)		132.3



1. Drain Hose
2. Pipe Connection
3. Air Inlet Grill (Air Filter inside)
4. Swing Louvers
5. Front Panel
6. Display LED

NOTES:
*Cooling and Heating Capacity data is rated at the following conditions:
Cooling: 80 °F DB / 67 °F WB Indoor, 95 °F DB Outdoor
Heating: 70 °F DB Indoor, 47 °F DB

NOTE – Due to Lennox' ongoing commitment to quality, Specifications, Ratings and Dimensions subject to change without notice and without incurring liability. Improper installation, adjustment, alteration, service or maintenance can cause property damage or personal injury. Installation and service must be performed by a qualified installer and servicing agency. ©2015 Lennox Industries Inc.

Submittal Rev-E-1215

Fuente: página oficial de Lennox®

Apéndice Q. Especificaciones técnicas de evaporadora tipo Piso Techo de 48,000 BTU o 4 Toneladas.

SUBMITTAL DATA - INDOOR UNIT
VEUM048N432U
VRF UNIVERSAL MOUNTED TYPE EVAPORATOR

Job Name:	Engineer:
Location:	Architect:
Schedule No.:	Date:
System Designation:	For: ___ Reference ___ Approval ___ Review ___ Construction

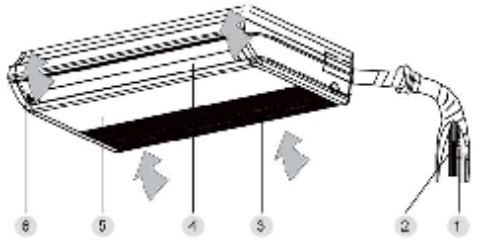
FEATURES

- Auto Addressing installation
- Auto Restart
- Auto Swing Louvers
- Built-in Electronic Expansion Valve
- LED Display
- Washable Filter
- Anti-Freezing Protection
- Enameled finish

PRODUCT WARRANTY
All covered components - one year limited warranty

SPECIFICATIONS

PERFORMANCE		
Cooling Capacity* (Btu/h)		47,770
Heating Capacity* (Btu/h)		54,590
Airflow (CFM)	High	1175
	Medium	1059
	Low	853
Sound Pressure Level (dBA)	H / M / L	52/49/45
ELECTRICAL DATA		
Power Supply (V / Hz / Ph)	220-240/50/1 - 208-230/60/1	
MOP (A)		6
Rated Current (A)	Cooling	0.95
	Heating	0.95
DIMENSIONS		
Unit Dimensions (in)	Height	27 1/2
	Width	67
	Depth	9 1/2
Liquid Pipe Connection (in)		3/8
Gas Pipe Connection (in)		5/8
Shipping Weight (lb)		150
Net Weight (lb)		132.3



1. Drain Hose
2. Pipe Connection
3. Air Inlet Grill (Air Filter inside)
4. Swing Louvers
5. Front Panel
6. Display LED

NOTES:
*Cooling and Heating Capacity data is rated at the following conditions:
Cooling: 80 °F DB / 67 °F WB Indoor, 95 °F DB Outdoor
Heating: 70 °F DB Indoor, 47 °F DB

NOTE – Due to Lennox' ongoing commitment to quality, Specifications, Ratings and Dimensions subject to change without notice and without incurring liability. Improper installation, adjustment, alteration, service or maintenance can cause property damage or personal injury. Installation and service must be performed by a qualified installer and servicing agency. ©2015 Lennox Industries Inc.

Submittal Rev-E-1215

Fuente: página oficial de Lennox®

Apéndice R. Especificaciones técnicas de evaporadora tipo Mini Split de 7,000 BTU o 0.58 Toneladas.

SUBMITTAL DATA - INDOOR UNIT
VEHW007N432P
VRF WALL MOUNTED TYPE EVAPORATOR

Job Name:	Engineer:
Location:	Architect:
Schedule No.:	Date:
System Designation:	For: ___ Reference ___ Approval ___ Review ___ Construction

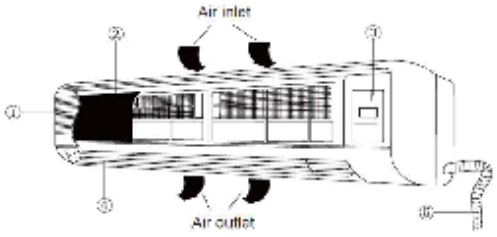
FEATURES

- Auto Addressing installation
- Auto Restart
- Auto Swing Louvers
- Built-in Electronic Expansion Valve
- LED Display
- Washable Filter
- Mildew-proof Filter
- Anti-Freezing Protection
- Enameled finish

PRODUCT WARRANTY
All covered components - one year limited warranty

SPECIFICATIONS

PERFORMANCE		
Cooling Capacity* (Btu/h)		7,506
Heating Capacity* (Btu/h)		8,530
Airflow (CFM)	High	294
	Medium	247
	Low	206
Sound Pressure Level (dBA)	H / M / L	38/34/30
ELECTRICAL DATA		
Power Supply (V / Hz / Ph)		208-230 / 60 / 1
MOP (A)		6
Rated Current (A)	Cooling	0.2
	Heating	0.2
DIMENSIONS		
Unit Dimensions (in)	Height	10 3/4
	Width	33 1/8
	Depth	7
Liquid Pipe Connection (in)		1/4
Gas Pipe Connection (in)		3/8
Shipping Weight (lb)		27.5
Net Weight (lb)		22



1. Surface Panel
2. Air Filters
3. Electronic Box Cover
4. Swing Louvers
5. Drain Hose

NOTES:
*Cooling and Heating Capacity data is rated at the following conditions:
Cooling: 80 °F DB / 67 °F WB Indoor, 95 °F DB Outdoor
Heating: 70 °F DB Indoor, 47 °F DB

NOTE – Due to Lennox' ongoing commitment to quality, Specifications, Ratings and Dimensions subject to change without notice and without incurring liability. Improper installation, adjustment, alteration, service or maintenance can cause property damage or personal injury. Installation and service must be performed by a qualified installer and servicing agency. ©2015 Lennox Industries Inc.

Submittal Rev-E-1215

Fuente: página oficial de Lennox®

Apéndice S. Especificaciones técnicas de condensadora de 210,000 BTU o 17.5 Toneladas.

SUBMITTAL DATA - OUTDOOR UNIT
VEP210N432N
VRF HEAT PUMP

Job Name:	**Engineer:**
Location:	**Architect:**
Schedule No.:	**Date:**
System Designation:	**For:** ___ Reference ___ Approval ___ Review ___ Construction

FEATURES

- Two-pipe heat pump
- Accelerated complete coil defrost
- Hermetically sealed compressor with crankcase heater
- Thermal and Current protection in Compressor
- Steel casing with baked enameled finish Compressor
- Access to electrical box for ease of maintenance
- High efficiency DC Inverter Scroll compressor
- Compressor mounted on vibration isolation pads
- Subcooling Control Technology
- Plastic Fan Blade
- Intelligent duty cicle operation
- Hydrophilic Aluminum Gold Fin

PRODUCT WARRANTY
Compressor - Three year limited warranty
All other components - one year limited warranty

SPECIFICATIONS

PERFORMANCE		
Cooling Capacity* (Btu/h)		153,540
EER (W/W)		3.56
Cooling Power Input (W)		12,640
Heating Capacity* (Btu/h)		170,600
COP (W/W)		3.85
Heating Power Input (W)		12,987
ELECTRICAL DATA		
Power Supply (V / Ph / Hz)		380-415 / 3 / 50-60
MOP (A)		60
MCA (A)		47
No. of Compressors		2
No. of Fans		2
GENERAL DATA		
Combination Ratio Indoor / Outdoor		50% to 125%
Max. # of Indoor Units		35 units
Sound Pressure Level (dBA)		64
Refrigerant Type		R410a
Factory Refrigerant Charge (oz)		504.5
DIMENSIONS		
Unit Dimensions (in)	Height	68 1/2
	Width	52 3/4
	Depth	30 1/8
Liquid Pipe Connection (in)		3/4
Gas Pipe Connection (in)		1 1/8
Shipping Weight (lb)		882
Net Weight (lb)		849

NOTES:
*Cooling and Heating Capacity data is rated at the following conditions:
Cooling: 80 °F DB / 67 °F WB Indoor; 95 °F DB / 75 °F WB Outdoor
Heating: 70 °F DB, 70 °F WB Indoor; 47 °F DB, 43 °F WB Outdoor

NOTE – Due to Lennox' ongoing commitment to quality, Specifications, Ratings and Dimensions subject to change without notice and without incurring liability. Improper installation, adjustment, alteration, service or maintenance can cause property damage or personal injury. Installation and service must be performed by a qualified installer and servicing agency. ©2015 Lennox Industries Inc.

Submittal Rev-E-1215

Fuente: página oficial de Lennox®