

**TEC** | Tecnológico  
de Costa Rica

**TECNOLÓGICO DE COSTA RICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**



“Diseño del sistema de acondicionamiento de aire para las oficinas administrativas del edificio municipal de Corredores”

**Informe de práctica de especialidad para optar por el título de Ingeniera en  
Mantenimiento Industrial con el grado académico de Licenciatura**

**REALIZADO POR:**  
Andrea Sanchún Varela

**Cartago, noviembre 2018**



**Carrera evaluada y acreditada por:**

Canadian Engineering Accreditation Board  
Bureau Canadien d'Accréditation des Programmes d'Ingénierie

**Profesor guía:**

Ing. Ignacio Del Valle Granados

**Asesor industrial:**

Ing. Jairo Quesada Castillo

**Tribunal Evaluador:**

Ing. Manuel Mata Coto

Ing. Francisco Bonilla Guido

## **Información del estudiante y la empresa**

*Nombre completo:* Andrea Sanchún Varela

*Número de cédula:* 1-1633-0370

*Número de carné:* 2013037572

*Edad:* 22 años

*Números de teléfono:* 8441-1935

*Correo electrónico:* asanchunv@gmail.com

*Dirección exacta de domicilio:* 500 m Oeste del cementerio de San Isidro, Heredia

## **Información del Proyecto**

*Nombre del Proyecto:* Diseño del sistema de acondicionamiento de aire para las oficinas administrativas del edificio municipal de Corredores

*Profesor Asesor:* Ing. Ignacio Del Valle Granados

*Horario de trabajo del estudiante:* lunes, miércoles, jueves y viernes de 8:00 am a 5:00 pm

## **Información de la Empresa**

*Nombre:* Confort Climático de Costa Rica S.A.

*Actividad Principal:* Diseño, venta, instalación y mantenimiento de sistemas HVAC

*Dirección:* Edificio Salper, 800 m Sur y 125 m Este de la Universidad Fidélitas, Curridabat

*Contacto:* Ing. Jairo Quesada Castillo

*Página Web:* <http://www.confortclimaticocr.com/>

*Teléfonos:* 2280-7554 / 2280-7556

## **Dedicatoria**

A mis padres, Gabriela y Martín, quienes merecen todos los méritos de este logro pues me dieron la oportunidad de estudiar y me acompañaron a lo largo del trayecto, a mis hermanas, Ericka y Alexandra, quienes me apoyaron todo el tiempo y me ayudaron a siempre a disminuir mis ansias y altos niveles de estrés.

A Daniel Solano Morales por haberme dado ese apoyo incondicional y recordarme que puedo levantarme caída tras caída.

A mis abuelitos Juan, Juanita y Teresa; quienes descansan en paz, pues siempre me alentaron a seguir adelante con mis estudios. En especial a mi abuelita Teresa, de quien recibí las mejores palabras antes de su partida.

## **Agradecimiento**

En primera instancia quiero agradecer a Dios quien me dio salud, perseverancia, fuerzas y todo lo necesario para poder concluir con esta etapa.

Agradezco a mi familia por todo el apoyo brindado a lo largo de mi carrera universitaria, por creer siempre en mí aun cuando yo no lo hacía, definitivamente sin ustedes no hubiera logrado ser quien soy.

A Daniel Solano Morales por haberme ayudado tanto en la última etapa de mi carrera, por las regañadas, las estudiadas, los consejos y todo el tiempo que me ha regalado. Sin dudas el TEC me dejó momentos inolvidables y a una persona sin igual.

A José Torres por haberme brindado tanto apoyo y su amistad, no imagino mis años universitarios sin un amigo así.

A todos los amigos y amigas que me acompañaron durante todo el proceso pues sin ustedes no hubiese sido lo mismo.

A los profesores de la Escuela de Ingeniería Electromecánica que me instruyeron en sus cursos, mil gracias por sus enseñanzas.

Agradezco también a la empresa Confort Climático de Costa Rica por haberme brindado confianza y la posibilidad de haber realizado mi práctica de especialidad en dicho lugar. Y por último, a los ingenieros Jairo Quesada e Ignacio Del Valle, mi asesor industrial y mi profesor tutor, por su asesoría.

## Contenido

Resumen.....	1
Abstract.....	2
Introducción.....	3
Reseña de la Empresa.....	3
1. Planteamiento del problema.....	4
1.1 Descripción del problema por resolver.....	4
1.2 Objetivos.....	10
1.2.1 Objetivo General.....	10
1.2.2 Objetivos Específicos.....	10
1.3 Justificación.....	11
1.4 Viabilidad.....	12
1.5 Alcance.....	12
1.6 Limitaciones.....	12
2. Marco teórico.....	13
2.1 Ciclo de refrigeración.....	13
2.1.1 Compresor.....	13
2.1.2 Unidad condensadora.....	13
2.1.3 Válvula de estrangulamiento.....	13
2.1.4 Unidad evaporadora.....	14
2.1.5 Sistema de tuberías.....	14

2.2	Acondicionamiento de aire .....	15
2.2.1	Tecnologías.....	17
2.2.2	Confort humano.....	21
2.3	Carga de enfriamiento.....	23
2.3.1	Cálculo de carga por estructura exterior.....	24
2.3.2	Cálculo de carga por estructura interior.....	25
2.3.3	Cálculo de carga por radiación solar a través de vidrios.....	26
2.3.4	Cálculo de carga por iluminación.....	26
2.3.5	Cálculo de carga por personas.....	27
2.3.6	Cálculo de carga por equipos.....	27
2.3.7	Cálculo de carga por ventilación.....	28
2.3.8	Cálculo de carga por transferencia de calor a los alrededores.....	28
2.3.9	Calor desprendido por ventiladores.....	29
2.4	Sistema de distribución de aire .....	29
2.4.1	Sistema de ductos.....	29
2.5	Índices para comparación de tecnologías.....	30
2.5.1	Eficiencia energética.....	31
2.6	Hourly Analysis Program (HAP).....	31
2.7	Lennox VRF Selector.....	32
3.	Metodología.....	33
4.	Desarrollo.....	35

4.1	Recintos por acondicionar.....	35
4.2	Condiciones de diseño.....	36
4.3	Ganancias de calor .....	38
4.3.1	Coeficientes necesarios.....	38
4.4	Carga de refrigeración.....	45
4.4.1	Cálculo manual mediante método ASHRAE.....	47
4.4.2	Cálculo mediante software HAP.....	50
4.5	Comparación de sistemas de expansión directa y agua helada .....	54
4.6	Selección de equipos .....	58
4.7	Cronograma de Mantenimiento.....	61
4.7.1	Unidades Evaporadoras .....	61
4.7.2	Unidad Condensadora.....	62
5.	Conclusiones.....	63
5.	Recomendaciones .....	64
9.	Bibliografía .....	65
10.	Apéndices.....	68
	Apéndice 1. Muestra de resultados equivalentes en unidades del SI del cálculo de carga térmica .....	68
	Apéndice 2. Muestra de resultados en unidades del SI del cálculo de carga de refrigeración .....	72
	Apéndice 3. Muestra de resultados en unidades del SI del cálculo manual mediante método ASHRAE .....	73
	Apéndice 4. Muestra de resultados del cálculo de carga térmica en HAP .....	76

Apéndice 5. Muestra de resultados en unidades del SI del cálculo mediante software HAP .....	78
Apéndice 6. Tabla resumen de numerales/estándares de normativa ASHRAE consultados .....	79
Apéndice 7. Cronograma proyectado del desarrollo del proyecto.....	80
11. Anexos .....	81
Anexo 1. Coeficiente de transferencia de calor en paredes y grupos de construcción ....	81
Anexo 2. Diferencia de temperatura para carga de enfriamiento .....	82
Anexo 3. Corrección de DTCE por latitud y mes.....	82
Anexo 4. Factor de ganancia máxima para vidrios (FGCS).....	83
Anexo 5. Diferencia de conducción de carga de enfriamiento en vidrios .....	83
Anexo 6. Tasas máximas de infiltración.....	83
Anexo 7. Coeficientes de sombreado en vidrio (CS) .....	84
Anexo 8. Ganancias de calor sensible y latente debidas a ocupantes.....	84
Anexo 9. Tasas mínimas de ventilación en zonas de respiración.....	85
Anexo 10. Velocidades recomendadas en ductos.....	85
Anexo 11. Nomograma de pérdida de fricción en ductos de aire.....	86
Anexo 12. Diámetros circulares equivalentes de ductos rectangulares para igual fricción y capacidad .....	87
Anexo 13. Ganancia de calor en equipos: computadoras .....	87
Anexo 14. Ganancia de calor en equipos: impresoras .....	88
Anexo 15. Ganancia de calor en equipos: comedores .....	88
Anexo 16. Ganancia de calor por iluminación .....	89
Anexo 17. Pantalla de inicio del VRF Selector .....	90

Anexo 18. Interfaz principal del VRF Selector .....	91
Anexo 19. Selección de equipos VRF para lado derecho del edificio.....	92
Anexo 20. Selección de equipos VRF para lado izquierdo del edificio .....	93
Anexo 21. Ficha técnica de unidad condensadora y certificación AHRI.....	94
Anexo 22. Tarifa eléctrica comercial T-CO del CNFL .....	97

## Índice de tablas

Tabla 1. Distribución de oficinas en los distintos niveles del edificio .....	5
Tabla 2. Áreas de recintos por acondicionar.....	35
Tabla 3. Características del cantón de Corredores.....	36
Tabla 4. Valores resumen de la carta psicométrica .....	37
Tabla 5. Coeficiente de transferencia de calor para paredes y techos .....	38
Tabla 6. Factores de corrección para obtener el DTCE.....	38
Tabla 7. Factores y coeficiente necesarios para calcular ganancia de calor en ventanas ....	39
Tabla 8. Ganancias de calor debidas a paredes exteriores en oficina de Auditoría.....	40
Tabla 9. Ganancias de calor debidas a ventana en oficina de Auditoría.....	40
Tabla 10. Ganancias de calor debidas a la iluminación por recinto .....	41
Tabla 11. Ganancias de calor debidas a ocupantes por recinto, nivel 01 .....	42
Tabla 12. Ganancias de calor debidas a ocupantes por recinto, nivel 02 .....	42
Tabla 13. Ganancias de calor debidas a ocupantes por recinto, niveles 03 y 04 .....	43
Tabla 14. Ganancias de calor debidas a infiltración en puertas por recinto, nivel 01 .....	43
Tabla 15. Ganancias de calor debidas a infiltración en puertas por recinto, nivel 02 .....	44
Tabla 16. Ganancias de calor debidas a infiltración en puertas por recinto, niveles 03 y 04 .....	44
Tabla 17. Carga de refrigeración debida a ventilación de ocupantes y forzada, nivel 01 ...	45
Tabla 18. Carga de refrigeración debida a ventilación de ocupantes y forzada, nivel 02 ...	46

Tabla 19. Carga de refrigeración debida a ventilación de ocupantes y forzada, niveles 03 y 04 .....	46
Tabla 20. Cargas totales de calor sensible y latente por recinto, nivel 01 .....	47
Tabla 21. Cargas totales de calor sensible y latente por recinto, nivel 02 .....	47
Tabla 22. Cargas totales de calor sensible y latente por recinto, niveles 03 y 04.....	48
Tabla 23. Cargas de refrigeración totales por recinto, método ASHRAE.....	49
Tabla 24. Cargas de refrigeración totales por recinto, software HAP .....	51
Tabla 25. Comparación de carga total de enfriamiento según método de cálculo .....	52
Tabla 26. Comparación de inversión inicial entre tecnologías tipo VRF, Inverter y chiller	54
Tabla 27. Comparación de relación de eficiencia energética entre condensadoras de tipo VRF, Inverter y chiller.....	55
Tabla 28. Consumo eléctrico anual de los compresores VRF, Inverter y chiller .....	56
Tabla 29. Costos del consumo eléctrico anual por sistema, en colones y dólares.....	56
Tabla 30. Comparación del impacto financiero por sistema en colones .....	57
Tabla 31. Comparación del impacto financiero por sistema en dólares .....	57
Tabla 32. Selección de equipos interiores y exteriores para el sistema del lado izquierdo .	58
Tabla 33. Selección de equipos interiores y exteriores para el sistema del lado derecho ...	58
Tabla 34. Selección de equipos interiores y exteriores del edificio.....	59
Tabla 35. Distribución de las unidades evaporadoras.....	60

## Índice de figuras

Figura 1. Organigrama de Confort Climático de Costa Rica.....	3
Figura 2. Distribución de oficinas en planta arquitectónica, nivel 01 .....	6
Figura 3. Distribución de oficinas en planta arquitectónica, nivel 02 .....	7
Figura 4. Distribución de oficinas en planta arquitectónica, nivel 03 .....	8
Figura 5. Distribución de oficinas en planta arquitectónica, nivel 04 .....	9
Figura 6. Índices metabólicos según actividad realizada.....	17
Figura 7. Ejemplo de sistema de expansión directa convencional .....	18
Figura 8. Ejemplo de centrales o manejadoras de aire .....	19
Figura 9. Ejemplo de un sistema VRF.....	20
Figura 10. Esquema de componentes en un sistema de agua helada.....	20
Figura 11. Zonas de confort de temperatura y humedad de aire en interiores.....	22
Figura 12. Ejemplo de carta psicométrica .....	23
Figura 13. Carta psicométrica para valores de temperatura y humedad exterior e interior .....	37

## Resumen

El clima en el cantón de Corredores en Puntarenas presenta por lo general temperaturas muy altas e incómodas para trabajar en una oficina. Es por lo anterior que este proyecto tiene como propósito el diseño del sistema de acondicionamiento de aire para las oficinas administrativas del edificio municipal de Corredores, en el cual se tiene como problemática la disminución de la productividad en los funcionarios debida al ambiente caliente e incómodo.

El diseño en cuestión atiende a un sistema de expansión directa de tecnología de volumen de refrigerante variable (VRF) con control central que consta de la determinación de la carga térmica adecuada para cada recinto, la comparación del sistema seleccionado con otras tecnologías, la selección de las unidades interiores y exteriores mediante el selector del fabricante Lennox, la elaboración de planos mecánicos, el cálculo de la propuesta financiera para el proyecto, y la elaboración del cronograma de mantenimiento de los equipos. El diseño se realizó siguiendo los parámetros de la norma ASHRAE, ver numeral en apéndice 6.

Después de realizar lo anterior, se determinó que la carga térmica total requerida por el sistema es de 40 toneladas de refrigeración. Y el sistema que mejor se acopló a las necesidades del edificio municipal fue el de tecnología VRF debido a que al realizar el análisis financiero de esta tecnología, la de expansión directa inverter con equipos uno a uno, y de un sistema de agua helada con chiller enfriado por aire; se obtuvo que se genera un ahorro de \$134 070 (C\$77 626 809) en 5 años al utilizar el VRF comparado con los demás.

**Palabras clave:** aire acondicionado, ASHRAE, volumen de refrigerante variable, climatización.

## **Abstract**

Corredores canton, located in Puntarenas generally presents very high and uncomfortable temperatures to work in an office. Due to this, the main purpose of this project is the design of an air conditioning system of the administrative offices at the municipal building of Corredores, which has a problematic that consists on the decrease of workers' productivity.

This design attends to a direct expansion system of variable refrigerant flow technology with a wired central controller consisting in the determination of the adequate thermal load, the comparison of the selected system between others, the selection of the indoor and outdoor units made with Lennox' VRF Selector, the making of mechanical drawings, calculation of the project's financial proposal, and the preparation of the equipment's maintenance schedule. The whole project was designed following the ASHRAE standards as shown in 6th appendix.

After designing it, it was determined that the requested thermal load of the system is 40 tons of refrigeration. Also, the best system option to supply municipal's building necessities was the VRF technology because after coming up with the financial proposal and comparing it between inverter direct expansion and chilled systems using air-cooled chiller; the result was a savings generated of \$134 070 (€77 626 809) in 5 years using VRF compared to the rest.

**Key words:** air conditioning, ASHRAE, variable refrigerant flow.

## Introducción

### Reseña de la Empresa

La empresa Confort Climático de Costa Rica S.A. se dedica a brindar servicios en diseño, venta, instalación y mantenimiento de sistemas de aire acondicionado y ventilación. Está ubicada en Curridabat, San José.

Misión: “Satisfacer de manera ágil y personalizada todas las necesidades de nuestros clientes en materia de climatización mediante sistemas de aire acondicionado y ventilación. Ofreciendo tiempos de repuesta oportuno, soluciones rentables y de calidad acorde a las necesidades de cada usuario”.

Visión: “Estar a la vanguardia en el mercado costarricense, ofreciendo a partir del conocimiento soluciones de valor agregado garantizando así la lealtad de nuestros clientes y maximizando la inversión para cada uno de ellos.”



Figura 1. Organigrama de Confort Climático de Costa Rica

## **1. Planteamiento del problema**

### **1.1 Descripción del problema por resolver**

Las oficinas administrativas del edificio municipal de Corredores, se encuentran divididas y poseen distintos tamaños, sin embargo, debido a la ocupación por los funcionarios, la ausencia de ventilación adecuada y las temperaturas habituales en Corredores, existe un espacio inadecuado y carente de confort para laborar. ASHRAE define en su estándar 55-2010, el confort térmico como “la condición de la mente que expresa satisfacción con el entorno térmico” (ASHRAE, 2010). Según este mismo estándar, las temperaturas de confort se encuentran dentro del rango de 19°C a 24°C para cuando los ocupantes son libres de elegir la vestimenta para sentir comodidad, sin embargo, al trabajar existe un código de vestimenta el cual se debe respetar, por ejemplo en la municipalidad de Corredores utilizan uniforme que consiste en pantalón y una camiseta o blusa tipo polo.

En el cantón de Corredores, específicamente en Ciudad Neily, las temperaturas alcanzan hasta los 35°C en los meses de marzo a abril, y en el resto del año las temperaturas van de los 17°C a los 24°C. (Solano & Villalobos)

Debido a lo anterior, es necesaria la instalación de equipos de aire acondicionado para mejorar el ambiente laboral y sobre todo, el confort de los funcionarios. Esto provoca un impacto positivo en la municipalidad, ya que, al tener mayor confort al trabajar, las personas son aún más productivas. Pues, según el estudio de la NASA, Comfort Conditioning the Plant with Evaporative Cooling, cuando la temperatura alcanza los 26°C, la productividad de los funcionarios disminuye en promedio un 8%; cuando alcanza 29°C, la productividad disminuye en 18%; y si se tienen temperaturas de 32°C, la eficiencia laboral baja en un 29%. (Marg, 1976)

Dichas oficinas se encuentran distribuidas en los cuatro pisos de la siguiente manera:

Tabla 1. Distribución de oficinas en los distintos niveles del edificio

<b>Nivel 1</b>	<b>Nivel 2</b>	<b>Nivel 3</b>	<b>Nivel 4</b>
Bienes Inmuebles	Recursos Humanos		
Plataforma de Servicios	Informática	Oficina del Alcalde	
Área de espera	Telecomunicación	Sala de Reuniones	
Cajas	Oficina Asesoría Legal	Director Administrativo	
Tesorería	Presupuesto	Sala de Espera	
Ambiente	Salud Ocupacional	Oficina Libre	Auditoría
Unidad Técnica de Gestión Vial	Sala Reunión	Asesor del Alcalde	Oficina Libre
Desarrollo Urbano	Contabilidad	Asistente del Vice-alcalde	
Proyectos	Oficina de la Mujer #1	Oficina de Vice-alcalde	
Proveeduría	Oficina de la Mujer #2	Consejo Municipal	
Proveedor	Archivo	Secretaría Consejo	
Catastro	Comedor	Presidencia Municipal	
	Inspectores		

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se muestran los recintos por acondicionar diferenciados por colores, listados en la tabla 1, en plano arquitectónico por niveles, de la figura 2 a la figura 5. Se presentan también las áreas de los recintos.

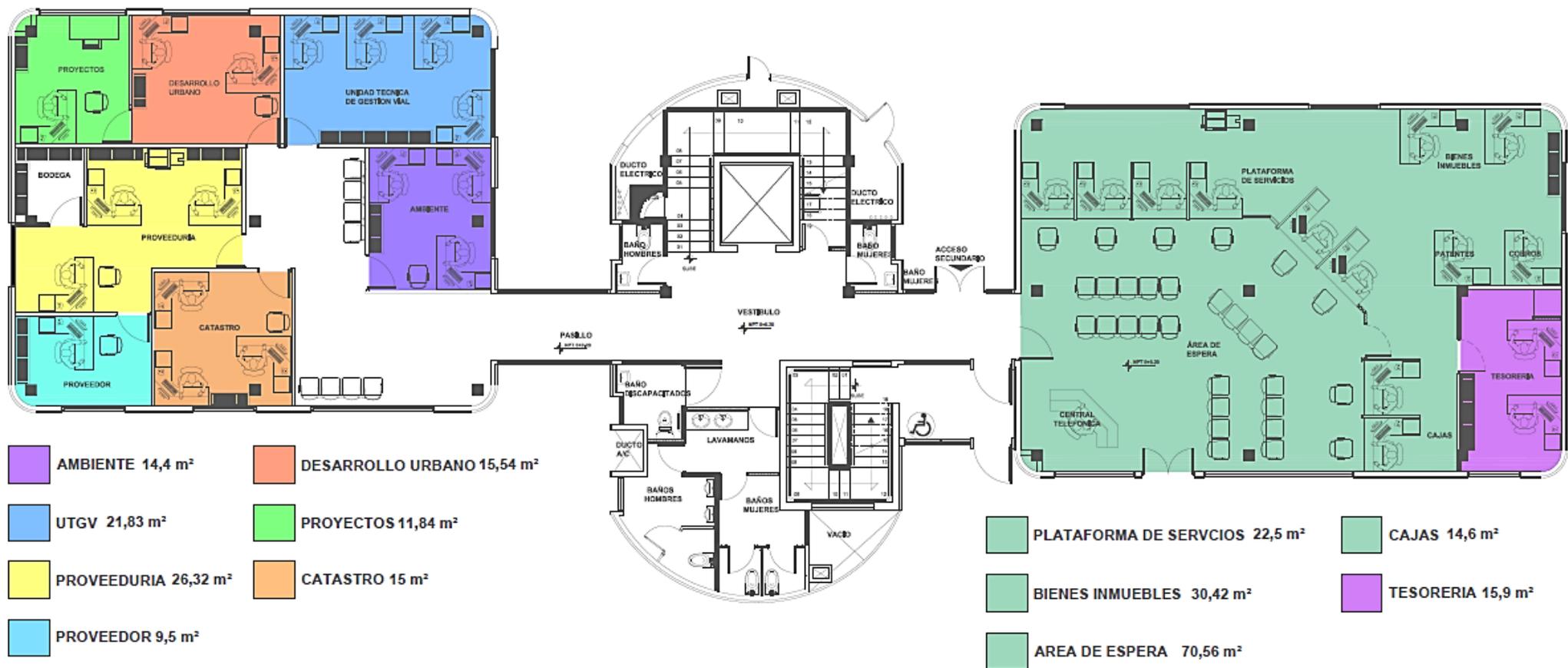


Figura 2. Distribución de oficinas en planta arquitectónica, nivel 01

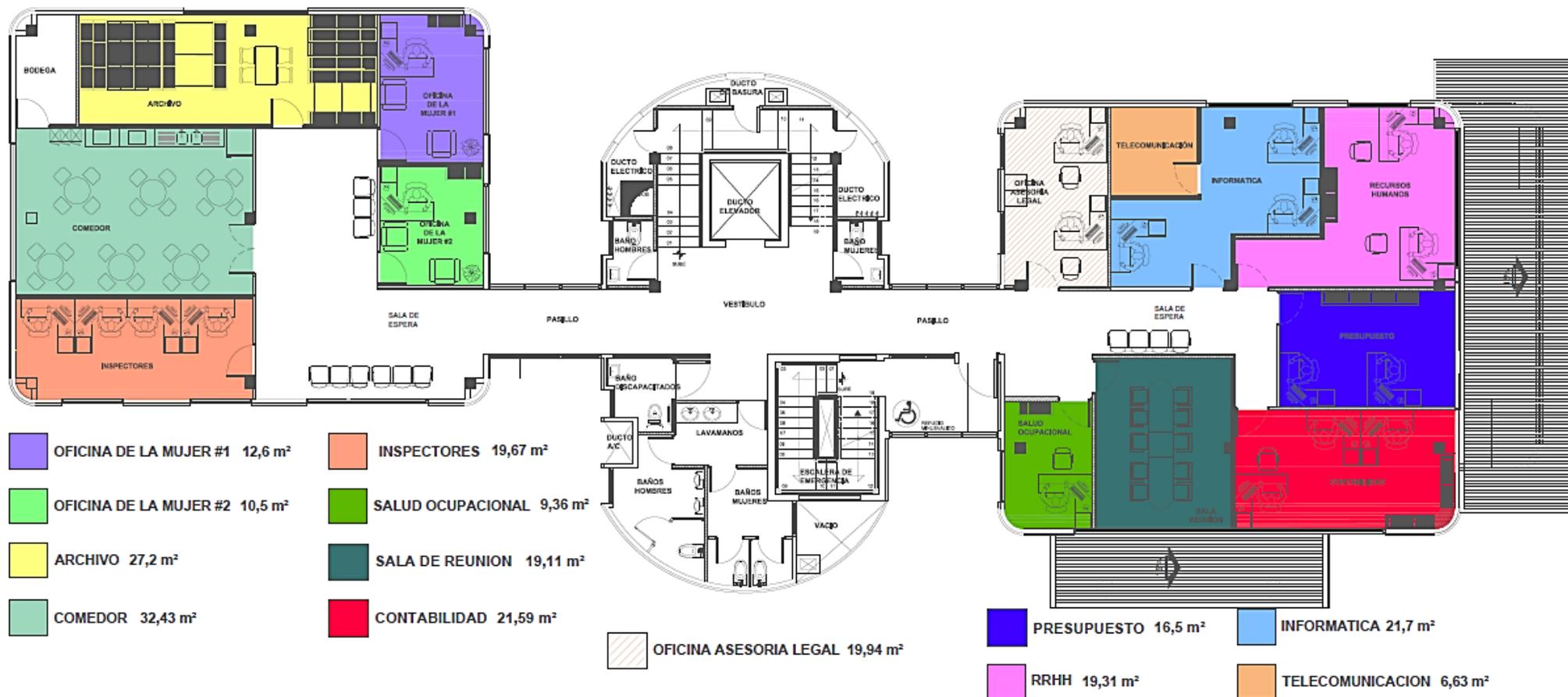


Figura 3. Distribución de oficinas en planta arquitectónica, nivel 02

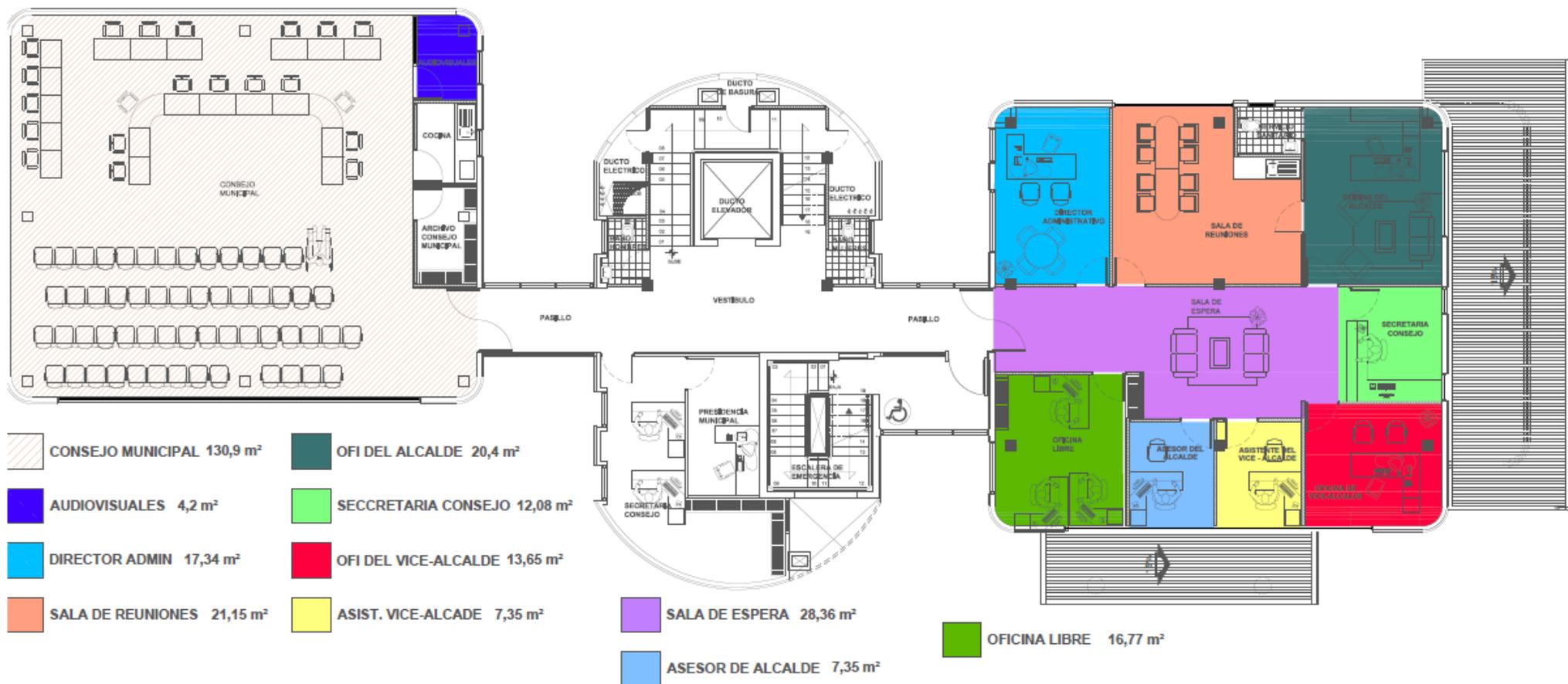


Figura 4. Distribución de oficinas en planta arquitectónica, nivel 03

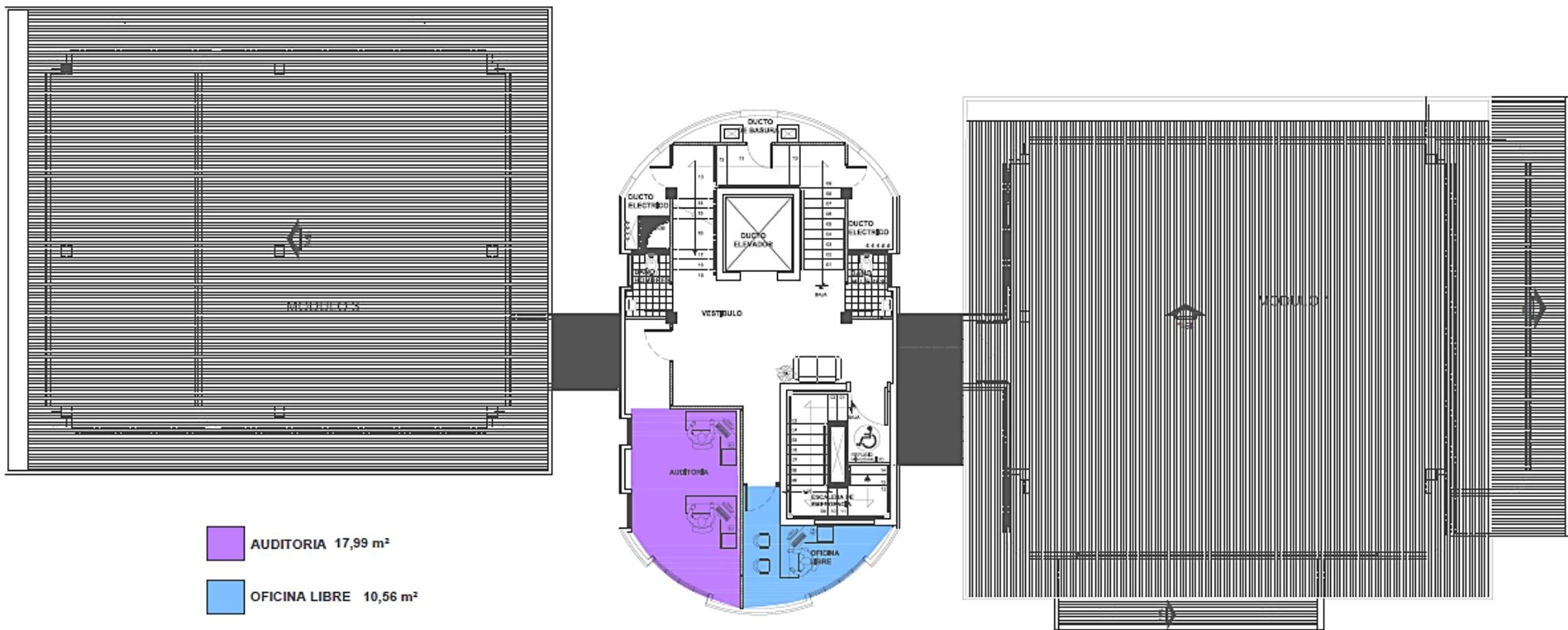


Figura 5. Distribución de oficinas en planta arquitectónica, nivel 04

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo General**

1. Resolver los problemas de disconfort térmico que poseen los funcionarios en las oficinas administrativas del edificio municipal de Corredores mediante el diseño y posterior implementación un sistema de acondicionamiento de aire.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

1. Diseñar un sistema de aire acondicionado, que cumpla con la normativa ASHRAE, para las oficinas administrativas del edificio municipal de Corredores mediante tecnología de volumen de refrigerante variable con sistema de control centralizado.
2. Comparar teóricamente tecnología de volumen de refrigerante variable con demás tipos de sistemas de aire acondicionado en cuanto a su costo, eficiencia energética y factores ambientales.
3. Generar la propuesta financiera de la implementación del sistema de aire acondicionado, en términos de la rentabilidad del proyecto.
4. Elaborar un cronograma de mantenimiento para el sistema de aire acondicionado por instalar.

### **1.3 Justificación**

El edificio municipal de Corredores posee en sus cuatro pisos áreas diseñadas para distintas oficinas administrativas de diferente índole. Cada oficina alberga una cierta cantidad de funcionarios, además del equipo de cómputo de cada uno y al ofrecer atención al cliente implica que el ambiente térmico sea más o menos confortable.

El uso de ventiladores personales de pedestal para que los funcionarios puedan trabajar de una forma más cómoda al cumplir con sus funciones diarias se dificulta ya que si es direccionado para que el flujo de aire quede directamente hacia ellos, los papeles y hojas sueltas importantes que mantengan sobre el escritorio o en papeleras, tienden a salir volando; por lo tanto, resulta inconveniente el uso de ventiladores de pedestal.

Al no poder direccionar los ventiladores directamente a ellos, la sensación térmica en sus oficinas resulta incómoda pues las ventanas son fijas y no pueden abrirse. Esto perjudica las condiciones laborales y eventualmente puede producir la disminución de productividad.

Por todo lo mencionado anteriormente se pretende, mediante el diseño óptimo de un sistema de aire acondicionado, lograr el ambiente adecuado tanto para los funcionarios como para los clientes que deben ser atendidos en dicho lugar.

El diseño en cuestión cumplirá con los criterios de la normativa de la sociedad Americana de Ingenieros en Calefacción, Refrigeración y Acondicionamiento de Aire (ASHRAE), sobre todo en aspectos como el ruido pues no se pueden instalar equipos que causen molestias a las personas. Además, se debe cumplir con disposiciones de las normas INTECO para ventilación. Se seleccionará también, un refrigerante que sea permitido según el protocolo de Montreal para después del año 2030, el cual prohibirá la venta de refrigerantes de la familia de los hidroclorofluorocarburos (HCFC). Por lo tanto, debe elegirse un refrigerante de transición como los HFC o mezclas (blends).

#### **1.4 Viabilidad**

Para lograr la implementación del proyecto, se cuenta con herramientas como AutoCAD para la confección de planos, el software del fabricante utilizado por Confort Climático para la selección de equipos VRF, y el software del fabricante Carrier: Hourly Analysis Program (HAP) para verificar la carga de enfriamiento.

#### **1.5 Alcance**

El alcance de este proyecto corresponde al diseño óptimo y mejor acoplado a las condiciones climatológicas en el cantón de Corredores del sistema de aire acondicionado mediante la tecnología de volumen de refrigerante variable, a las oficinas administrativas del edificio municipal, basado en normativas ASHRAE.

#### **1.6 Limitaciones**

El tamaño de los ductos, si los hubiera, se puede ver afectado debido al escaso espacio existente en el entre cielo, pues son oficinas que ya están construidas. Por ejemplo, si se van a utilizar ductos cuadrados para trasegar el aire hacia difusores.

Otra limitante es que el diseño debe acoplarse, tanto en equipos exteriores como interiores, a los espacios ya construidos.

## **2. Marco teórico**

### **2.1 Ciclo de refrigeración**

El ciclo de refrigeración transfiere la energía térmica de una de región de baja temperatura a una con mayor temperatura. (ASHRAE, 2009). Este ciclo se compone de cuatro procesos; compresión del fluido en un compresor, salida de calor del sistema a presión constante mediante un condensador, estrangulamiento del fluido mediante dispositivo de expansión, y absorción de calor desde el espacio frío mediante un evaporador. (Çengel & Boles, 2009). Por lo tanto, el proceso incluye distintos elementos que constituyen el sistema, de los cuales, solo se hará hincapié en el sistema de tuberías que lo conecta. Los elementos que lo constituyen son los siguientes:

#### **2.1.1 Compresor.**

Indica ASHRAE, que los compresores “pueden ser volumétricos, de émbolo alternativo, de paletas, scroll, de tornillo simple y doble seco o inundado de lubricante, y centrífugos de una o varias etapas.” (2010).

#### **2.1.2 Unidad condensadora.**

Los condensadores se encargan de rechazar el calor del sistema, existen según ASHRAE, distintos tipos de condensadores estándar como lo son los de envolvente y tubos enfriados tanto por agua como por salmuera, los de envolvente y serpentín, los de placas o de tubos coaxiales; los de agua en cascada o rociada sobre el serpentín o la placa; y por último, los refrigerados por aire, condensadores de batería de aletas. (ASHRAE, 2010)

#### **2.1.3 Válvula de estrangulamiento.**

Es una válvula de control, generalmente se utilizan las válvulas de expansión termostáticas. Se encarga de controlar el caudal de refrigerante que se dirige al evaporador según la temperatura del refrigerante gaseoso que se mide a la salida del evaporador. Además, impide que el líquido retorne a la línea de succión del compresor. (ASHRAE, 2010)

#### **2.1.4 Unidad evaporadora.**

Los evaporadores, según ASHRAE “pueden tener baterías de refrigeración inundadas, de expansión directa, o con sobrealimentación de líquido con o sin aletas” (2010). Indica también, que se utilizan para enfriar fluidos como aire, gas, líquido e incluso sólidos; condensar sustancias que sean volátiles; y congelar productos. (ASHRAE, 2010)

#### **2.1.5 Sistema de tuberías.**

La tubería de refrigerante se encarga de transportar el refrigerante a través del compresor, condensador, válvula de expansión, y el evaporador para producir el efecto refrigerante requerido. Para refrigerantes como los halocarburos y demás que contienen carbono, se utiliza tubería de cobre; y para casos como amoníaco, se utiliza tubería de acero. Se utilizan tres tipos de cobre para estas tuberías; el tipo K que es para sistemas de capacidades muy grandes, el tipo M que se utiliza para menor capacidad que el tipo K, y el tipo L que es el estándar mayormente usado en sistemas de refrigeración y aire acondicionado. Este sistema de tuberías debe de estar completamente libre de suciedad, polvo, óxidos e incrustaciones; primordialmente para así proteger al compresor. (Wang, 2001)

El diseño y funcionamiento de este sistema, debe ser tal que; se asegure una buena alimentación de refrigerante a los evaporadores, se tenga una caída de presión baja según el tamaño de tubería seleccionada, se evite que se retenga aceite en cualquier tramo, se proteja al compresor de pérdidas de aceite, se evite que llegue al compresor refrigerante líquido o bolsas de aceite, y se mantenga limpio y seco el sistema. (ASHRAE, 2010)

#### *Refrigerantes*

Los refrigerantes absorben calor a bajas temperaturas y baja presión y lo liberan a presiones y temperaturas más elevadas. (Wang, 2001)

La selección del refrigerante debe realizarse después de analizar sus propiedades como su capacidad de transferir calor, su viscosidad, su estabilidad química bajo condiciones de uso, los códigos de seguridad que deben tenerse en caso de fugas debido a su toxicidad, su costo, eficiencia, y compatibilidad con el lubricante del compresor y los materiales del

equipo, las consecuencias ambientales que pueden presentarse si llega a existir una fuga pues las moléculas permanecen por años en la atmósfera y eventualmente suben a la estratosfera causando destrucción de la capa de ozono y efecto invernadero. (ASHRAE, 2001)

Por causa de los problemas ambientales, en 1987 se creó el Protocolo de Montreal que consiste en un tratado internacional donde se controla la producción de sustancias que afectan la capa de ozono como lo son los refrigerantes que contienen cloro y/o bromo. En este protocolo se definió el cese en la producción de clorofluorocarbonos (CFC) para el año 1996 y de hidroclorofluorocarbonos (HCFC) para el año 2030. (ASHRAE, 2001)

Debido a lo anterior, para este sistema se selecciona un hidrofluorocarbono (HFC) llamado R-410A, según ASHRAE, el cual es una mezcla del R-32 y R-125 en un 50/50. Este refrigerante no produce daños en la capa de ozono y posee un HGWP, Halocarbon Global Warming Potential por sus siglas en inglés, de 0,43. (Wang, 2001)

## **2.2 Acondicionamiento de aire**

El acondicionamiento de aire es el proceso en el cual se le realiza un tratamiento a este, en un ambiente interno, para establecer y mantener estándares de temperatura, humedad, limpieza y movimiento. La temperatura, se controla al agregar o eliminar calor al aire; la humedad, se controla al agregar o eliminar vapor de agua en el aire; la limpieza, es controlable mediante la filtración o ventilación, pueden utilizarse ambos; por último, para controlar el movimiento, es necesario un equipo adecuado que distribuya el aire a cierta velocidad. (Pita, 2005).

Para realizar un diseño de aire acondicionado apropiado, este debe cumplir con las condiciones presentadas a continuación:

- Brindar la energía y temperatura requerida por el sistema.
- Condicionar el aire de suministro al enfriar, controlar humedad, limpieza, etc.
- Distribuir el aire acondicionado al espacio que se va a climatizar, con el fin de suplir la demanda.
- Controlar y mantener las condiciones del ambiente interior dentro de los límites predeterminados. (Wang, 2001)

Según se puede intuir de lo anterior, es necesario contemplar en el diseño, aspectos térmicos del cuerpo humano para poder cumplir el objetivo de brindar confort a las personas. Se debe a que el organismo genera calor al realizar la oxidación de sus alimentos mediante la metabolización; y como el calor pasa del medio más caliente al más frío, el cuerpo pierde calor que es dirigido al ambiente. Existen tres procesos mediante los cuales el calor corporal es expedido al ambiente: la convección se da por el contacto del aire que rodea el cuerpo, la radiación que se da cuando el calor se transmite a objetos cercanos, y la evaporación que es el método de enfriamiento del cuerpo mediante la transpiración. (Pita, 2005)

La velocidad de pérdida de calor es afectada por cinco factores, según Pita, “temperatura del aire, humedad del aire, movimiento del aire, temperatura de los objetos circundantes, prendas de vestir” (2005). Como se explicó inicialmente, el acondicionamiento del aire modifica tres de esos factores que afectan al ser humano; la temperatura, humedad y movimiento del aire.

Es importante tomar en cuenta el índice metabólico que es la rapidez del metabolismo en estado de reposo, el cual incluye funciones como respiración, circulación sanguínea y demás funciones corporales necesarias. Wang, muestra una tabla de estos índices según la actividad que se está realizando, la cual se presenta en la figura 6. Se observa que conforme existe mayor movimiento o se realiza una actividad que demande mayor trabajo, este índice aumenta. Toda esta energía que se libera durante el metabolismo, se transmite en forma de calor y mediante los procesos explicados antes.

En la figura a continuación,  $1 \text{ met} = 58,1 \text{ W/m}^2$ , y corresponde a la unidad utilizada para expresar el índice metabólico por unidad de área de DuBois. Para un hombre saludable de 20 años de edad, se tiene un índice metabólico normal de 12 met, mientras que, para un hombre adulto mayor de 70 años, se tiene un índice normal que ronda los 7 met. Los valores máximos normales para las mujeres se encuentran un 30% por debajo de los valores de índice metabólico de los hombres. (ASHRAE, 2001)

Metabolic Rate for Various Activities		
Activity level	Metabolic rate	
	Met	Btu/h · ft <sup>2</sup>
Resting		
Sleeping	0.7	13
Seated, quiet	1.0	18
Office work		
Reading, seated	1.0	18
Typing	1.1	20
Teaching	1.6	30
Domestic work		
Cooking	1.6–2.0	29–37
House cleaning	2.0–3.4	37–63
Walking		
Speed 2 mph	2.0	37
4 mph	3.8	70
Machine work		
Light	2.0–2.4	37–44
Heavy	4.0	74
Dancing, social	2.4–4.4	44–81
Sports		
Tennis, singles	3.6–4.0	66–74
Basketball	5.0–7.6	90–140
Wrestling	7.0–8.7	130–160

*Source:* Adapted with permission from ASHRAE Handbook 1989, Fundamentals.

Figura 6. Índices metabólicos según actividad realizada

Fuente: (Wang, 2001)

### 2.2.1 Tecnologías.

#### *Expansión directa*

Estos sistemas utilizan refrigerante como fluido para transmitir el calor. Es llamado de expansión directa debido al serpentín del evaporador de tubos y aletas, donde se evapora el refrigerante, se expande directamente dentro de los tubos y absorbe la energía calórica del ambiente durante el enfriamiento. (Wang, 2001)

Estos sistemas de expansión directa se subdividen en sistemas tipo mini splits, centrales y, por último, sistemas de volumen variable de refrigerante (VRF).

Los sistemas tipo mini split son uno a uno, lo que quiere decir que por cada unidad evaporadora existe su respectiva unidad condensadora. Posee ventajas sobre los demás sistemas debido a que sus costos iniciales son menores y su instalación es más sencilla. (Bhatia). Estos sistemas, como lo indica su nombre en inglés, son partidos o segmentados pues una parte del sistema se encuentra en la unidad interior mientras que la otra está en la unidad exterior, sin embargo, ambas forman parte de un todo y se encuentran partidas pero conectadas a través de la tubería.

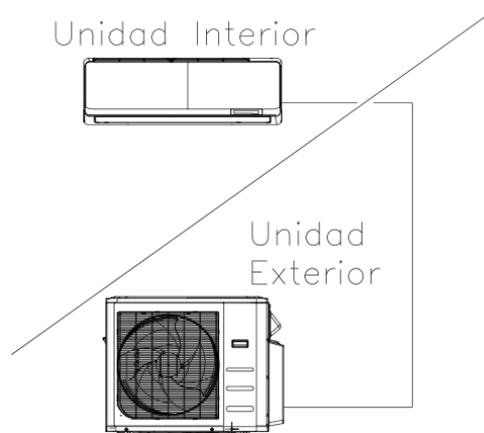


Figura 7. Ejemplo de sistema de expansión directa convencional

Fuente: Elaboración propia, AutoCAD 2014, Lennox AutoCAD Templates

Las centrales o manejadoras de aire son una combinación de serpentines, ventilador, filtros, compuertas y la caja; distribuyen un volumen constante de aire por un ducto hacia los distintos recintos y debido a esto cada recinto poseería las mismas condiciones. (Pita, 2005).

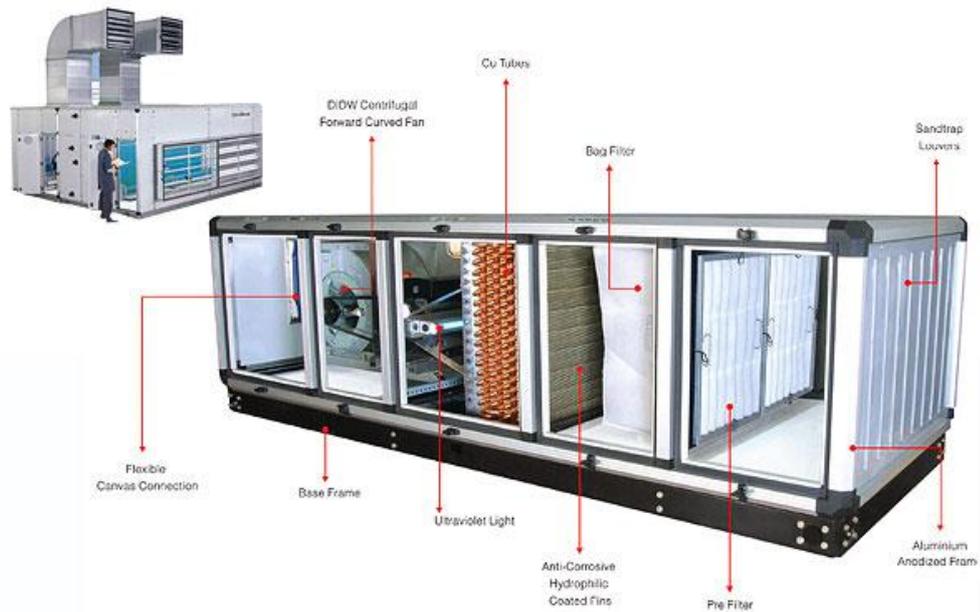


Figura 8. Ejemplo de centrales o manejadoras de aire

Fuente: (Climatización G&A, n.d.)

Los sistemas de volumen de refrigerante variable poseen una configuración en la cual existe un solo condensador para distintas unidades evaporadoras, con un máximo de 48 dependiendo del fabricante. Su nombre se debe a la capacidad del sistema de controlar y distribuir la demanda de flujo de refrigerante necesario en cada evaporadora de diferente capacidad, es decir, cada evaporadora tendrá un control de confort individual. Una de sus ventajas se debe a que resultan más eficaces con respecto a las centrales o mini splits, debido a la versatilidad que presentan al poder controlar diferentes espacios en horarios y condiciones requeridas por cada usuario.

El control de refrigerante se da mediante una válvula modulante de pulsos (PMV), su apertura es determinada por un microprocesador que recibe información de los sensores termistores de cada unidad evaporadora. Su instalación es un poco más complicada debido a que las unidades están conectadas al condensador mediante cable de control para que se pueda dar la debida respuesta a la demanda de cada recinto al variar la velocidad del compresor tipo scroll de tecnología “inverter”. Este compresor inverter se distingue de los demás ya que no se enciende y se apaga con el ciclo de refrigeración, sino que permanece siempre encendido variando su velocidad para evitar los altos consumos de energía al estar arrancando. (Bhatia)

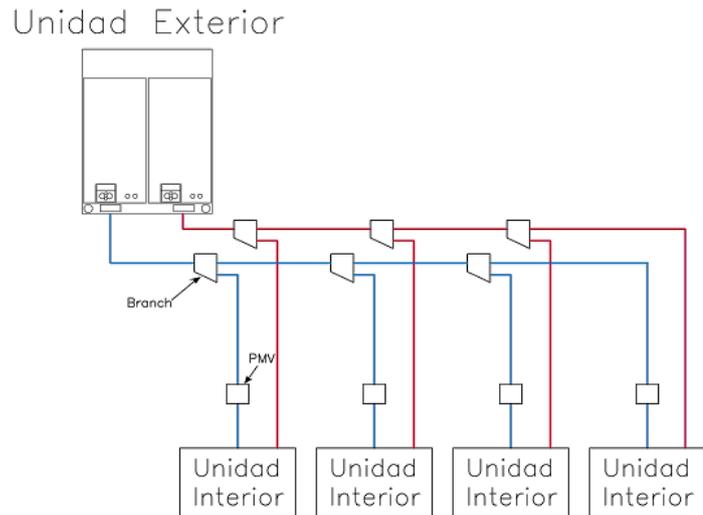


Figura 9. Ejemplo de un sistema VRF

Fuente: Elaboración propia, AutoCAD 2014

### Agua helada

En un sistema de agua de enfriamiento, el agua pierde calor en una enfriadora de agua (4), seguidamente, el agua helada es bombeada (3) a las tuberías (2) que se dirigen la unidad terminal que requiere enfriar el recinto (1). Ese proceso se muestra en el siguiente esquema. Los sistemas de solo agua son muy utilizados en sistemas muy grandes y en especial en edificios altos, debido a que el agua tiene el calor específico mucho más alto que el del aire. (Pita, 2005)

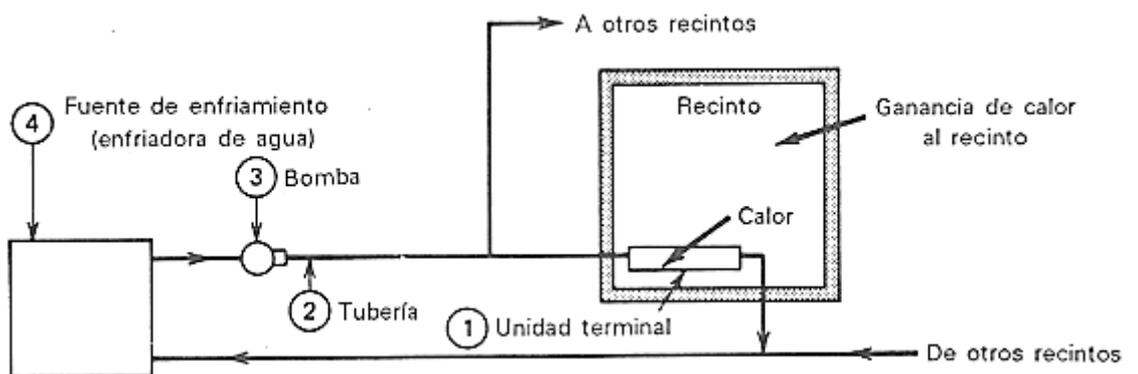


Figura 10. Esquema de componentes en un sistema de agua helada

Fuente: (Pita, 2005)

### **2.2.2 Confort humano.**

La normativa de la Sociedad Americana de Ingenieros en Calefacción, Refrigeración y Acondicionamiento de Aire, por sus siglas en inglés ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers), mediante estudios realizados por ISO 7730:2005, Ergonomics of the Thermal Environment— Analytical Determination and Interpretation of Thermal Comfort using Calculation of the PMV and PPD Indices and Local Thermal Comfort Criteria, han establecido condiciones ideales para el confort humano en interiores. Para las cuales es importante conocer la temperatura de bulbo seco y el porcentaje de humedad relativa. (ASHRAE, 2010)

Temperatura de bulbo seco (BS): es la temperatura del aire, se mide con termómetro convencional. Afecta directamente la sensación de comodidad dentro de un recinto.

Porcentaje de humedad relativa (%HR): es la relación que existe entre la presión real de vapor de agua en el aire con la presión de vapor de agua que puede mantener el aire estando a la temperatura de bulbo seco. Afecta la cantidad de calor que un cuerpo puede perder, si el porcentaje de humedad relativa se aumenta, se disminuye la pérdida de calor corporal; si el porcentaje se disminuye, aumenta la pérdida de calor corporal mediante la evaporación, que es lo que se busca cuando se está en un recinto caliente.

Según se muestra en el siguiente gráfico de ASHRAE, la zona de confort térmico para las personas que utilizan vestimenta normal y se encuentran en reposo o realizando trabajo ligero, se encuentra entre temperaturas de 20°C a 26°C (68°F a 80°F), y entre porcentajes de humedad relativa del 30% al 70% donde el porcentaje más deseable es de un 50%.

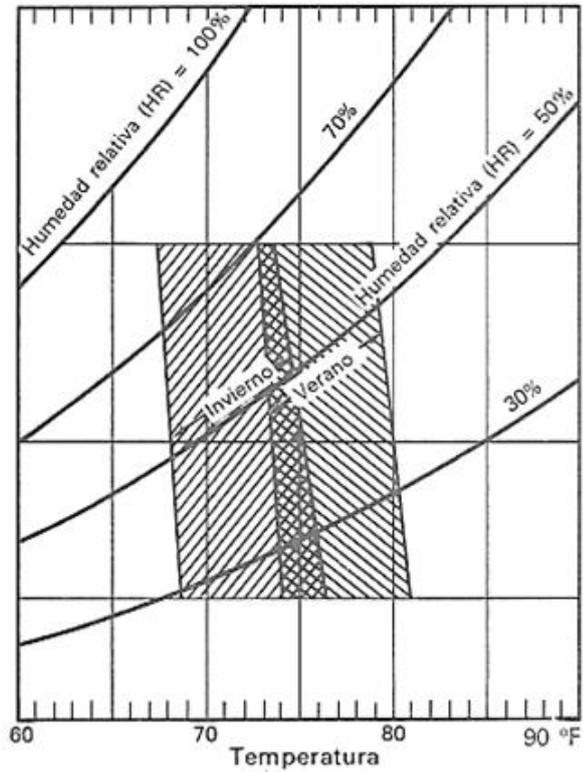


Figura 11. Zonas de confort de temperatura y humedad de aire en interiores

Fuente: (Pita, 2005)

En la carta psicrométrica, se encuentra la cantidad de información necesaria y sencilla de verificar para un estudio de acondicionamiento de aire. En la siguiente figura se muestra la carta psicrométrica.

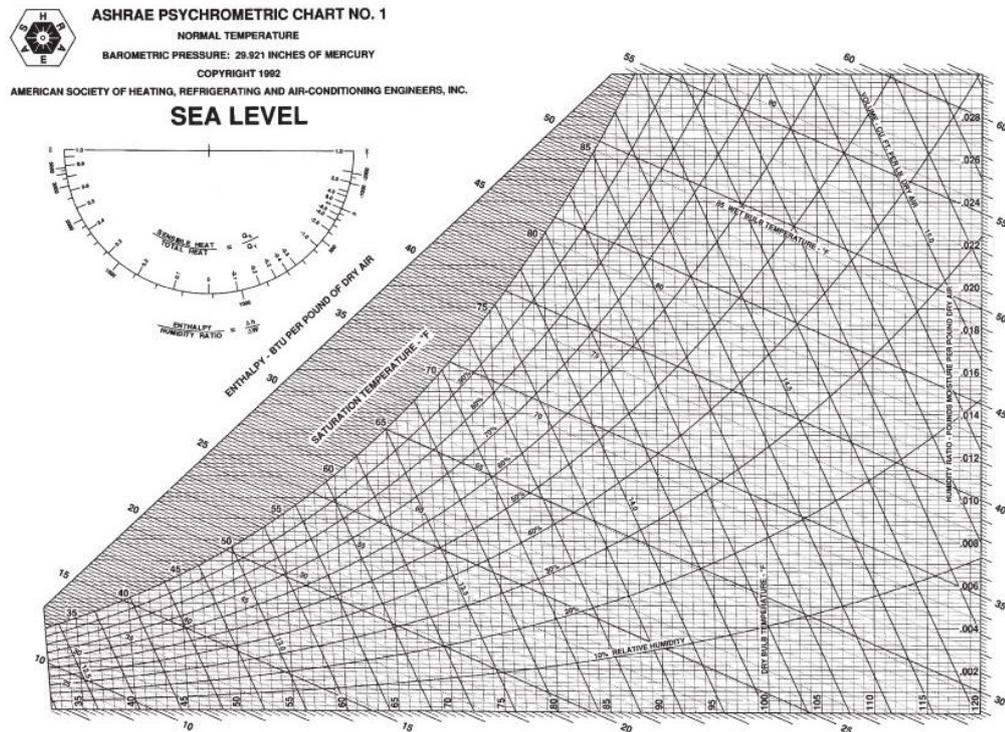


Figura 12. Ejemplo de carta psicométrica

Fuente: (ASHRAE, 2009)

### 2.3 Carga de enfriamiento.

Es también conocido como carga térmica, y es la cantidad de calor neta que se extrae de un recinto o la suma de las ganancias de calor del mismo. Es necesario calcularla debido a que es la base para seleccionar los equipos, tuberías y ductos. (Pita, 2005)

Según la normativa ASHRAE, las ganancias de calor en los recintos se deben a los siguientes componentes:

- Conducción a través de paredes, techo y vidrios
- Conducción a través de cielos rasos y pisos en divisiones internas
- Radiación solar a través de vidrios
- Carga debida a iluminación
- Carga debida a personas
- Carga debida a equipos
- Cargas por infiltración de aire exterior (ventilación)

Las ganancias anteriores conviene agruparlas en ganancias que proceden de fuentes externas al recinto y las que provienen de fuentes internas. Además, las anteriores se agrupan en ganancias de calor sensible (RSGH) y ganancias de calor latente (RLGH). Las ganancias de calor latente agregan vapor de agua al entorno y con ello aumentan la humedad, en cambio, las de calor sensible provocan aumento en la temperatura del aire. Al tener las ganancias de calor sensible y latente totales, se les deben agregar las ganancias de calor que provienen de fuentes externas tales como calor producido por ventiladores de evaporadoras, ganancia de calor en ductos, fugas de aire en ductos, ventilación externa. (Pita, 2005)

### 2.3.1 Cálculo de carga por estructura exterior.

La ganancia de calor por conducción a través de la estructura exterior se calcula de la siguiente manera. Ver anexos 1 al 3.

$$Q = U \times A \times DTCE_e$$

Ecuación 1. Ecuación para cálculo de carga por estructura exterior

Donde,

$Q$ : Es la ganancia neta del recinto por conducción a través del techo, paredes o vidrio [BTU/h]

$U$ : Es el coeficiente general de transferencia de calor para el techo, paredes o vidrios [BTU/ (h ft<sup>2</sup> °F)]

$A$ : Es el área del techo, paredes o vidrios [ft<sup>2</sup>]

$DTCE_e$ : Es la diferencia de temperatura para carga de enfriamiento [°F]

Los coeficientes dependen directamente del material de las paredes, techo y ventanas.

Se debe corregir el  $DTCE_e$  debido a que las tablas contienen este valor para una temperatura de diseño interior de 78°F y temperatura exterior de 85°F con paredes y techos oscuros, a una latitud de 40°N. La forma en la que se debe corregir, es la siguiente:

$$DTCE_e = [(DTCE + LM) \times K + (78 - t_R) + (t_O - 85)] \times f$$

Ecuación 2. Ecuación para cálculo de carga por estructura exterior

Donde,

$DTCE_e$ : Valor corregido de DTCE [°F]

$DTCE$ : Temperaturas de las tablas 6.1 o 6.2 (Capítulo 6, Pita, 2005) [°F]

$LM$ : Corrección para latitud al color y mes, tabla 6.4 (Capítulo 6, Pita, 2005)

$K$ : Corrección debida al color de la superficie

$t_R$ : Temperatura del recinto [°F]

$t_O$ : Temperatura de diseño exterior promedio [°F]

$f$ : Factor de corrección para ventilación del cielo raso (solo para el techo)

Según Pita,  $K$  equivale a 1 si las superficies son oscuras o es un área industrial; es 0,5 si hay techos de color claro en zonas rurales; es 0,65 si hay paredes de color en zonas rurales. Además,  $f$  es 0,75 para ventiladores de entrepiso y 1 para todos los demás casos. (Pita, 2005)

### 2.3.2 Cálculo de carga por estructura interior.

Se calcula mediante la siguiente ecuación, y corresponde a ganancias de calor por conducción a través de cielos rasos y pisos.

$$Q = U \times A \times DT$$

Ecuación 3. Ecuación para cálculo de carga por estructura interior

Donde,

$Q$ : Es la velocidad de transferencia de calor a través de la división, piso o cielo raso [BTU/h]

$U$ : Es el coeficiente global de transferencia de calor para la división, piso o cielo raso [BTU/ (h ft<sup>2</sup> °F)]

$A$ : Es el área la división, piso o cielo raso [ft<sup>2</sup>]

$DT$ : Es la diferencia de temperatura entre los espacios sin acondicionar y los acondicionados [°F]

Cuando no se conoce la temperatura del espacio sin acondicionar, se supone una diferencia de 5°F. (Pita, 2005)

### **2.3.3 Cálculo de carga por radiación solar a través de vidrios.**

Este valor varía con la hora, orientación del recinto, sombreado y efecto de almacenamiento. Se calcula con la siguiente ecuación. Ver anexos 4, 5 y 7.

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

Ecuación 4. Ecuación para cálculo de carga por radiación solar a través de vidrios

Donde,

*Q*: Es la ganancia neta por radiación solar a través del vidrio [BTU/h]

*FGCS*: Es el factor de ganancia máxima de calor solar [BTU/ (h ft<sup>2</sup>)]

*A*: Es el área del vidrio [ft<sup>2</sup>]

*CS*: Es el coeficiente de sombreado

*FCE*: Es el factor de carga de enfriamiento para el vidrio

### **2.3.4 Cálculo de carga por iluminación.**

Esta ganancia de calor se calcula mediante la siguiente ecuación. Es importante tomar en cuenta la relación 1 W = 3,41 BTU/h.

$$Q = 3,41 \times W \times FB \times FCE$$

Ecuación 5. Ecuación para cálculo de carga por iluminación

Donde,

*Q*: Es la carga neta de calor debida al alumbrado [BTU/h]

*W*: Es la capacidad de alumbrado [W]

*FB*: Es el factor de Balastro

*FCE*: Es el factor de carga de enfriamiento para el alumbrado

“El factor FB toma en cuenta las pérdidas de calor en el balastro de las unidades fluorescentes u otras pérdidas especiales.” (Pita, 2005). Se utiliza un valor típico de FB= 1,25 para alumbrado fluorescente, el FB para el alumbrado incandescente es igual a 1 debido a que no hay pérdidas adicionales. El factor FCE considera el almacenamiento de calor por alumbrado.

### 2.3.5 Cálculo de carga por personas.

Las ganancias de calor por personas, se deben tanto a ganancias por calor sensible como latente (anexo 8), por lo tanto, las siguientes ecuaciones permiten calcular esta carga.

$$Q_S = q_S \times n \times FCE$$

Ecuación 6. Ecuación para cálculo de carga por personas, calor sensible

$$Q_L = q_L \times n$$

Ecuación 7. Ecuación para cálculo de carga por personas, calor latente

Donde,

$Q_S, Q_L$ : Es la ganancia de calor sensible y latente [BTU/h]

$q_S, q_L$ : Es la ganancia de calor sensible y latente por persona [BTU/h]

$n$ : Es el número de personas

$FCE$ : Es el factor de carga de enfriamiento por personas

### 2.3.6 Cálculo de carga por equipos.

Esta ganancia puede leerse directamente de datos de placa de los equipos o puede extraerse de normas que establecen un valor general para diferentes equipos. Algunos de ellos pueden generar calor sensible y latente.

$$Q_{motores} = 3,41 \times W$$

Ecuación 8. Ecuación para cálculo de carga por motores

Donde,

$Q$  Es la carga neta de calor debida a los equipos [BTU/h]

$W$  Es la capacidad de los motores [W]

### 2.3.7 Cálculo de carga por ventilación.

Es necesario considerar las ganancias de calor sensible y latente debidas al aire exterior que se infiltra al recinto. Se calcula con las siguientes ecuaciones.

$$Q_S = 1,1 \times CFM \times CT$$

Ecuación 9. Ecuación para cálculo de carga por ventilación, calor sensible

$$Q_L = 0,68 \times CFM \times (w_e - w_i)$$

Ecuación 10. Ecuación para cálculo de carga por ventilación, calor latente

Donde,

$Q_S, Q_L$ : Es el calor sensible y latente [BTU/h]

$CFM$ : Es el flujo de aire de ventilación [ft<sup>3</sup>/min]

$CT$ : es el cambio de temperatura del aire [°F]

$w_e - w_i$ : Es la relación de humedad exterior e interior [g de agua/lb aire seco]

### 2.3.8 Cálculo de carga por transferencia de calor a los alrededores.

Es la pérdida de calor sensible que se transfiere, a través de la estructura del recinto, a los alrededores. La corrección para esta transferencia de calor, se realiza mediante las siguientes ecuaciones.

$$F = 1 - 0,02K$$

Ecuación 11. Ecuación para corregir cada ganancia de calor sensible

$$K = (U_w A_w + U_g A_g) / L$$

Ecuación 12. Ecuación para cálculo de conductancia

Donde,

$F$ : Es el factor para corregir cada ganancia de calor sensible

$K$ : Es la conductancia de la unidad de longitud [BTU/ (h ft °F)]

$L$ : Es la longitud de la pared exterior [ft]

$U_w, U_g$ : Son los coeficientes de transferencia de calor, w=pared, g=vidrio [BTU/ (h ft<sup>2</sup> °F)]

$A_w, A_g$ : Son las áreas de la pared o del vidrio [ft<sup>2</sup>]

Las ganancias de calor sensible por conducción, iluminación, radiación solar, personas y equipos se deben multiplicar por 0,94 cada una. (Pita, 2005)

### **2.3.9 Calor desprendido por ventiladores.**

Contempla el calor producido por los ventiladores de las unidades evaporadoras y se toma en cuenta de la siguiente manera, debe ser añadida a la carga sensible total (RSHG) obtenida.

- Para presión de 1 in de agua → 2,5% de la RSHG
- Para presión de 2 in de agua → 5% de la RSHG
- Para presión de 4 in de agua → 10% de la RSHG

(Pita, 2005)

## **2.4 Sistema de distribución de aire**

### **2.4.1 Sistema de ductos.**

Según Pita, se puede realizar el diseño de los ductos mediante dos métodos, el de igual fricción y el de recuperación estática; existe un tercer método según AHSRAE, el método T. Este debe cumplir con parámetros como el espacio disponible, la velocidad y con ello el nivel de sonido del aire, y pérdidas por fricción.

El primero se basa en seleccionar un valor para la pérdida de presión por fricción, el cual se mantiene constante durante todas las secciones del sistema; el ducto se selecciona

tomando en cuenta la velocidad máxima permisible para evitar mucho ruido, todo lo anterior se toma de los anexos 10, 11 y 12.

El segundo se utiliza solamente para dimensionar ductos de aire de suministro. Se basa en el principio de Bernoulli, donde se pretende mantener constante la presión estática al cambiar el tamaño de ducto aguas abajo. Como el cambio de presión estática de una sección a otra es cero, se tiene la siguiente igualdad mostrada en la ecuación 13.

$$\rho gh_1 + \frac{V_1^2}{2} + \frac{P_1}{\rho} = \rho gh_2 + \frac{V_2^2}{2} + \frac{P_2}{\rho}$$

Ecuación 13. Principio de Bernoulli

Donde,

$\rho gh$ : Energía potencial

$\frac{V}{2}$ : Energía cinética

$\frac{P}{\rho}$ : Energía del flujo

Al utilizar fluido con densidad constante, un sistema de ductos completamente horizontal donde no existen cambios en la altura, y además, que se mantendrá una presión constante durante todas las secciones; se obtiene que la velocidad se mantendrá constante durante todo el ducto.

Como el caudal debe ser tal que cumpla con el diseño, y está relacionado con la velocidad y área, y la velocidad se define mediante criterios de ASHRAE debido a los niveles de ruido permisibles por tipo de recinto, lo que debe ajustarse para mantener la presión debe ser el área de los ductos.

## 2.5 Índices para comparación de tecnologías

La medición de estos índices para poder comparar correctamente los distintos sistemas y determinar así el más favorable para el edificio municipal, se van a comparar con respecto a la unidad de área.

### 2.5.1 Eficiencia energética.

Según ASHRAE, el uso de energía se puede medir de cierta forma mediante los siguientes índices:

- *Relación de eficiencia energética (EER)*: se define como la relación entre la capacidad neta de enfriamiento en BTU/h de un compresor, unidad de paquete, chillers y otros equipos, entre la potencia eléctrica de entrada bajo condiciones normales de operación.

$$EER = \frac{\text{Capacidad neta de enfriamiento } \left[ \frac{BTU}{h} \right]}{\text{Potencia eléctrica de entrada } [W]}$$

Ecuación 14. Relación de eficiencia energética

- *Relación de eficiencia energética estacional (SEER)*: es la capacidad total de enfriamiento bajo condiciones normales de operación en periodo anual en BTU, entre la energía eléctrica de entrada total durante el mismo periodo en Wh.

(ASHRAE, 1999)

Sin embargo, debido a que en Costa Rica no se cuenta con estaciones climáticas, no es favorable medir eficiencia mediante esta última relación; por lo anterior, se utilizará el EER para comparar la eficiencia de los equipos.

### 2.6 Hourly Analysis Program (HAP)

Es un programa de diseño utilizado por profesionales en el área de proyectos en sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado (Heating, ventilation, and air conditioning). HAP, es una herramienta multifunción que admite el cálculo de la carga térmica máxima, dimensionamiento del sistema y análisis completo de la energía del edificio. Las cargas máximas se calculan mediante la función de transferencia de ASHRAE. Las tasas de flujo de aire requeridas y las capacidades del equipo son derivadas en función del tipo de sistema que se quiere utilizar.

El software necesita de ciertos parámetros de diseño para lograr el correcto dimensionamiento del valor de la carga. Estos parámetros de entrada son, por ejemplo; las dimensiones del recinto, zona climática en la que se encuentra, los cambios de aire en el mismo, temperatura ambiente, particiones, tipo de pared, puertas, ventanas, entre otras.

Este programa luego de obtener el valor de la carga térmica, tiene la posibilidad de exportar dichos resultados del dimensionamiento del equipo al Catálogo Electrónico de Carrier (E-CAT). De igual forma, el software tiene una herramienta la cual se encarga de la generación de reportes detallados que contienen toda la información de interés a la hora de hacer una comparación entre diferentes sistemas, o a la hora de seleccionar el tamaño de los equipos. Además, tiene la posibilidad de comparar dichos sistemas alternativos a nivel financiero, mediante un estudio simple de recuperación de inversión, flujo de caja y características detalladas del análisis del ciclo de vida.

## **2.7 Lennox VRF Selector**

Es un programa creado para realizar la selección de los equipos tanto internos como externos (condensador y evaporadoras) de sistemas de volumen de refrigerante variable del fabricante Lennox.

Se utiliza después de tener el análisis de carga térmica y el diseño de tuberías de refrigerante, pues los datos de entrada para seleccionar las evaporadoras son: el tipo (pared alta, piso-cielo, cassette, fan coil, etc.), la longitud en metros del ramal al equipo, cantidad de codos aproximada en la longitud anteriormente mencionada, capacidad requerida en kBTU/h. Al introducir los datos anteriores, se puede dar al programa la posibilidad de recomendar un modelo apropiado, si no se desea hacer, puede seleccionarse el modelo manualmente.

Después de seleccionadas las evaporadoras, se procede a seleccionar el condensador que mejor se adecúe dependiendo del factor de diversidad que se requiera por el sistema. En última instancia, se verifica el sistema y si no posee errores, se genera el reporte. Las siguientes figuras, muestran la interfaz del programa. En los anexos 17 y 18, se encuentran imágenes de su interfaz.

### **3. Metodología**

#### **1. Recolección de información**

Se realiza la identificación de los planos estructurales y arquitectónicos, estimación de áreas, definición de las oficinas a climatizar, medición de ventanas si las hay.

#### **2. Cálculo de carga térmica o de refrigeración**

Se analiza y calcula la carga térmica, y la extracción de aire basadas en la normativa ASHRAE, mediante el libro Acondicionamiento de Aire: Principios y Sistemas de Edward Pita. Se realiza verificación de la misma mediante el software del fabricante Carrier, Hourly Analysis Program (HAP).

#### **3. Selección de tamaños de tubería y ductos por utilizar**

Después de haber calculado la carga de refrigeración, se procede a la dimensión de las tuberías y ductos por instalar.

#### **4. Comparación de sistemas de aire acondicionado**

Se realiza la comparación de costos, eficiencia energética y de aspectos ambientales entre sistemas de aire acondicionado de expansión directa para la verificación del sistema VRF como mejor opción.

#### **5. Selección de equipos**

Se seleccionan los equipos, de acuerdo con la capacidad que deben tener para suplir la carga térmica calculada. Además, se debe seleccionar como mínimo un refrigerante de transición para que pueda seguir operando el sistema después del 2030.

#### 6. Elaboración de planos mecánicos

Se realizan los planos mecánicos del sistema de aire acondicionado con toda la información necesaria para el completo entendimiento del mismo y su correcta instalación.

#### 7. Cálculo de la propuesta financiera

Se realiza la propuesta financiera para proceder al pedido de los equipos y materiales por instalar.

#### 8. Elaboración del cronograma de mantenimiento del equipo

Se realiza el cronograma de mantenimiento de los equipos, con el fin de que se cumpla y así evitar fallas prematuras o catastróficas.

## 4. Desarrollo

### 4.1 Recintos por acondicionar

Los recintos que deben acondicionarse, se muestran en la tabla a continuación, donde se incluye también el área en metros cuadrados calculada según los planos arquitectónicos.

Tabla 2. Áreas de recintos por acondicionar

<b>Nivel 1</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Nivel 2</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>
Bienes Inmuebles	30,42	Recursos Humanos	19,31
Plataforma de Servicios	22,5	Informática	21,7
Área de espera	70,56	Telecomunicación	6,63
Cajas	14,6	Oficina Asesoría Legal	14,94
Tesorería	15,9	Presupuesto	16,5
Ambiente	14,4	Salud Ocupacional	9,36
Unidad Técnica de Gestión Vial	21,83	Sala Reunión	19,11
Desarrollo Urbano	15,54	Contabilidad	21,59
Proyectos	11,84	Oficina de la Mujer #1	12,6
Proveeduría	26,32	Oficina de la Mujer #2	10,5
Proveedor	9,5	Archivo	27,2
Catastro	15	Comedor	32,43
		Inspectores	19,67
<b>Nivel 3</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Nivel 4</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>
Oficina del Alcalde	20,4		
Sala de Reuniones	21,15		
Director Administrativo	17,34		
Sala de Espera	28,36		
Oficina Libre	16,77	Auditoría	17,99
Asesor del Alcalde	7,35	Oficina Libre	10,56
Asistente del Vice-alcalde	7,35		
Oficina de Vice-alcalde	11,7		
Audiovisuales	4,2		
Consejo Municipal	130,9		
Secretaría Consejo	12,08		
Presidencia Municipal	8		

Fuente: Elaboración propia

## 4.2 Condiciones de diseño

Las condiciones exteriores del edificio municipal de Corredores, se muestran a continuación en la tabla 3. Para el diseño se utilizan las condiciones de temperatura intermedias de 28°C (82,4°F).

Tabla 3. Características del cantón de Corredores

Latitud norte	Longitud oeste	Temperatura (°C)		Humedad Relativa (%)	Mes más caliente del año	Hora más caliente del día
		Mínima	Máxima			
8°38'	82°56'	17	35	80	Marzo	14:00 h

Fuente: Elaboración propia, IMN

Para el interior de los recintos, se definen las siguientes características según la temperatura y humedad relativa de confort para ASHRAE. La temperatura interna requerida es de 22°C (71,6°F) y una humedad relativa de 50%.

En la figura a continuación, se presenta la carta psicométrica de donde se obtuvieron los valores de temperatura de bulbo húmedo.

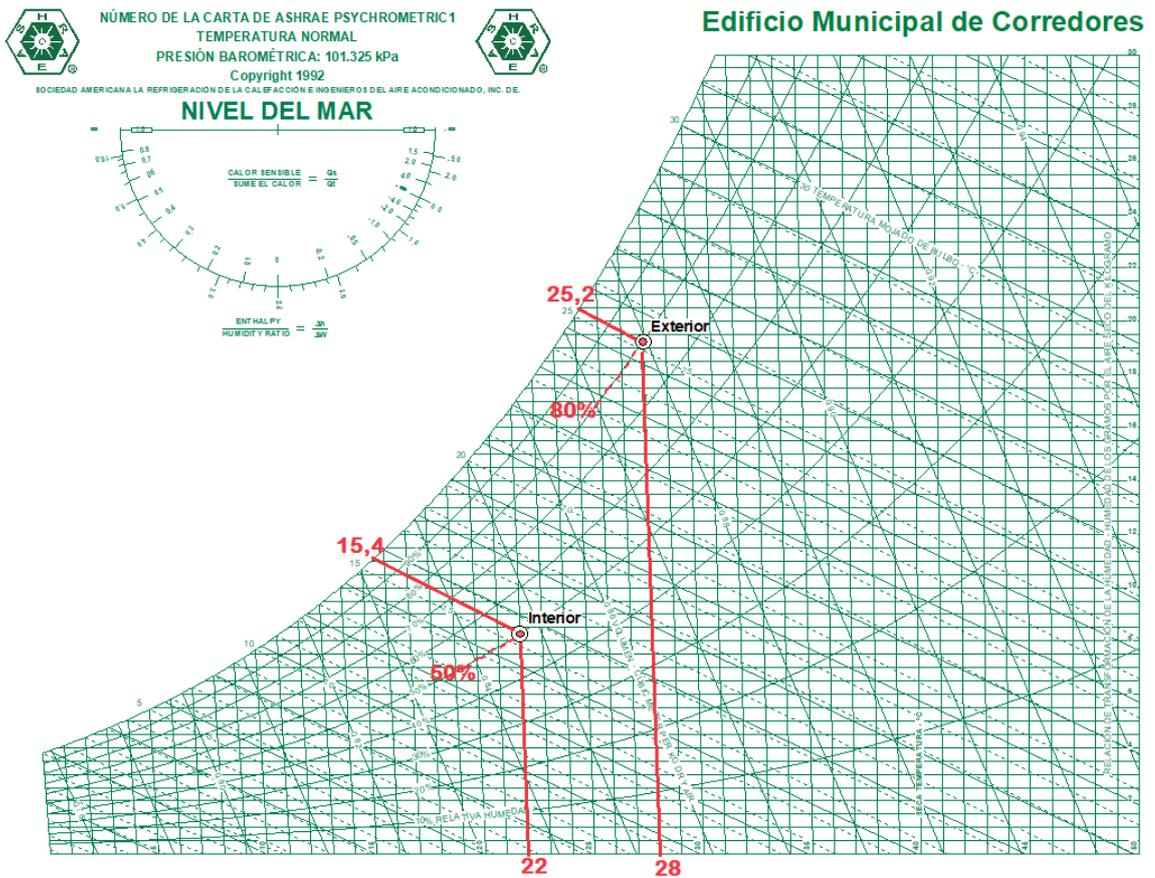


Figura 13. Carta psicrométrica para valores de temperatura y humedad exterior e interior  
 Fuente: (ASHRAE, 2007)

En la tabla 4 se muestra un resumen de los datos obtenidos en la carta psicrométrica.

Tabla 4. Valores resumen de la carta psicrométrica

Variable	Exterior	Interior
Temperatura de Bulbo Seco (°C)	28	22
Temperatura de Bulbo Húmedo (°C)	25,2	15,4
Porcentaje de Humedad Relativa (%)	80	50

Fuente: Elaboración propia

### 4.3 Ganancias de calor

#### 4.3.1 Coeficientes necesarios.

En esta sección se muestran las características físicas de los recintos y los coeficientes necesarios para el cálculo de carga térmica, basados en la normativa ASHRAE.

#### *Paredes, techos y ventanas*

Según el material de la construcción, se seleccionan los coeficientes de transferencia de calor (U) medidos en [BTU/ (h °F ft<sup>2</sup>)]. Las paredes internas son livianas, debido a esto se utiliza el coeficiente para “bloque de concreto ligero con espacio de aire + bloque de 4 pulgadas” y las externas son paredes de bloque normal “bloque de concreto pesado: bloque de 4 pulgadas”, de la Tabla 6.2. Las ventanas son de vidrio plano sencillo de la Tabla A.8 (Pita, 2005). Los valores de U se presentan en la tabla 5.

Tabla 5. Coeficiente de transferencia de calor para paredes y techos

Características físicas de los recintos	U (BTU/h °F ft <sup>2</sup> )
Paredes internas: bloque de concreto ligero con espacio de aire + bloque de 4 in	0,246
Paredes externas: bloque de concreto pesado, bloque de 4 in	0,319
Vidrios: plano sencillo	1,04

Fuente: (Pita, 2005)

Como se muestra en la ecuación 2, se debe corregir el valor DTCE. Se utiliza el factor LM a 8° latitud norte en el mes de marzo, el factor DTCE se utiliza para paredes, en este caso se utilizó la pared del grupo E. En la siguiente tabla se muestra el resumen de los factores y el DTCE<sub>e</sub> corregido.

Tabla 6. Factores de corrección para obtener el DTCE

Ubicación Pared	DTCE	LM	K	f	t <sub>r</sub> (°F)	t <sub>o</sub> (°F)	DTCE <sub>e</sub>
Noroeste	13	-1,0	1,0	1,0	59,7	77,4	19,8
Suroeste	18	-2,0					28,8
Noreste	26	-1,0					38,8
Sureste	37	-2,0					15,8

Fuente: Elaboración propia

Para lograr calcular la radiación solar a través de las ventanas es necesario conocer los siguientes factores y coeficiente de sombreado: FGCS, FCE y CS. El factor de ganancia de calor solar (FGCS) se obtiene a la latitud de 8°, el factor de carga de enfriamiento para el vidrio (FCE) se toma a las 14:00 horas para construcción ligera, y el coeficiente de sombreado (CS) se obtiene por vidrio sencillo claro sin sombreado interior. Se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 7. Factores y coeficiente necesarios para calcular ganancia de calor en ventanas

Ubicación Ventanas	FGCS (BTU/h ft <sup>2</sup> )	CS	FCE
Noroeste	156	1,0	0,21
Suroeste	184		0,44
Noreste	156		0,3
Sureste	184		0,4

Fuente: Elaboración propia

### *Personas y equipos*

Para calcular la ganancia de calor debida a las personas que se encontrarán en los recintos, se utiliza la Tabla 6.11 (Pita, 2005) de donde se obtiene el calor sensible y latente por persona.

La ganancia debida a los equipos, va a estar dada por los criterios de ASHRAE según las tablas 8, 9 y 10 del Fundamentals Handbook. Las anteriores, se muestran en los anexos 13 al 15 respectivamente. Para las computadoras se utiliza un factor de diversidad del 67% y para las impresoras uno del 50% (ASHRAE, 2001).

### *Infiltración*

Para el cálculo de la infiltración se deben conocer las tasas máximas recomendadas de infiltración para puertas ya que las ventanas son fijas, estas se encuentran en el anexo 6, obtenidas de la Tabla 3.3 (Pita, 2005).

## *Iluminación*

Para el cálculo de la iluminación se debe conocer el área de piso y la capacidad del alumbrado en watts, para ello se utiliza la densidad de potencia del alumbrado (LPD) tomado del anexo 16, obtenido del estándar 90.1-2007 de ASHRAE. (ASHRAE, 2007). Además, se utiliza el factor de balastro  $FB=1$ .

A continuación, se presentan tablas con las ganancias de calor debidas a paredes, ventanas, iluminación, personas, infiltración, y demás; por recintos.

Se presenta una muestra de resultados de un recinto para las ganancias en paredes, ver apéndice 1 para resultados en unidades del SI.

Tabla 8. Ganancias de calor debidas a paredes exteriores en oficina de Auditoría

<b>Ubicación Pared</b>	<b>DTCE<sub>e</sub> (°F)</b>	<b>Área (ft<sup>2</sup>)</b>	<b>U (BTU/h °F ft<sup>2</sup>)</b>	<b>RSHG (BTU/h)</b>
Noreste	25,2	125,38	0,319	965,8
Noroeste	12,2	2,2		232,0

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9. Ganancias de calor debidas a ventana en oficina de Auditoría

<b>Ubicación Ventana</b>	<b>DTCE<sub>e</sub> (°F)</b>	<b>Área (ft<sup>2</sup>)</b>	<b>U (BTU/h °F ft<sup>2</sup>)</b>	<b>RSHG<sub>conducción</sub> (BTU/h)</b>	<b>RSHG<sub>radiación</sub> (BTU/h)</b>
Noreste	13,2	27,1	1,04	356,70	1 215,90
Noroeste	13,2	30,1		396,30	945,70

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10. Ganancias de calor debidas a la iluminación por recinto

Recinto	Área (ft <sup>2</sup> )	LPD (W/ft <sup>2</sup> )	Consumo total (W)	RSHG (BTU/h)	
Bienes Inmuebles	327,4	1,0	327,4	1 251,2	
Plataforma de Servicios	242,2		242,2	947,5	
Área de espera	759,5		759,5	2 861,6	
Cajas	157,2		157,2	608,5	
Tesorería	171,1		171,1	670,5	
Ambiente	155,0		155,0	579,1	
Unidad Técnica de Gestión Vial	235,0		235,0	866,7	
Desarrollo Urbano	167,3		167,3	659,1	
Proyectos	127,4		127,4	498,8	
Proveeduría	283,3		283,3	1 110,2	
Proveedor	102,3		102,3	399,4	
Catastro	161,5		161,5	617,8	
Recursos Humanos	207,9		1,0	207,9	768,1
Informática	233,6			233,6	924,4
Telecomunicación	71,4	71,4		276,3	
Oficina Asesoría Legal	160,8	160,8		608,1	
Presupuesto	177,6	177,6		687,6	
Salud Ocupacional	100,8	100,8		376,2	
Sala Reunión	205,7	205,7		819,0	
Contabilidad	232,4	232,4		918,4	
Oficina de la Mujer #1	135,6	135,6		511,2	
Oficina de la Mujer #2	113,0	113,0		445,3	
Archivo	292,8	292,8		1 148,4	
Comedor	349,1	349,1		1 387,2	
Inspectores	211,7	211,7		828,9	
Oficina del Alcalde	219,6	1,0	219,6	833,8	
Sala de Reuniones	227,7		227,7	1 068,8	
Director Administrativo	186,6		186,6	706,0	
Sala de Espera	305,3		305,3	1 181,9	
Oficina Libre	180,5		180,5	703,9	
Asesor del Alcalde	79,1		79,1	306,3	
Asistente del Vice-alcalde	79,1		79,1	306,3	
Oficina de Vice-alcalde	146,9		146,9	568,9	
Audiovisuales	45,2		45,2	170,6	
Consejo Municipal	1 409,0		1 409,0	5 024,7	
Secretaría Consejo	130,0		130,0	507,4	
Presidencia Municipal	86,1		86,1	333,4	
Auditoría	193,6		1,0	193,6	759,6
Oficina Libre	113,7	113,7		446,3	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11. Ganancias de calor debidas a ocupantes por recinto, nivel 01

Recinto	Cantidad	Tasas de ganancias (BTU/h/persona)		RSHG (BTU/h)	RLHG (BTU/h)
		Sensibles	Latentes		
Bienes Inmuebles	4	255	255	951,9	1 020,0
Plataforma de Servicios	5			1 218,2	1 275,0
Área de espera	22			5 162,1	5 610,0
Cajas	2			482,2	510,0
Tesorería	2			484,9	510,0
Ambiente	4			930,7	1 020,0
UTGV	4			918,9	1 020,0
Desarrollo Urbano	2			490,8	510,0
Proyectos	2			487,5	510,0
Proveeduría	5			1 220,2	1 275,0
Proveedor	2			486,5	510,0
Catastro	4			978,3	1 020,0

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12. Ganancias de calor debidas a ocupantes por recinto, nivel 02

Recinto	Cantidad	Tasas de ganancias (BTU/h/persona)		RSHG (BTU/h)	RLHG (BTU/h)
		Sensibles	Latentes		
Recursos Humanos	4	255	255	920,5	1 020,0
Informática	3			739,4	765,0
Telecomunicación	1			241,1	255,0
Oficina Asesoría Legal	4			942,3	1 020,0
Presupuesto	2			482,2	510,0
Salud Ocupacional	2			465,1	510,0
Sala Reunión	10			2 479,6	2 550,0
Contabilidad	4			984,5	1 020,0
Oficina de la Mujer #1	3			704,2	765,0
Oficina de la Mujer #2	3			736,3	765,0
Archivo	4			977,1	1 020,0
Comedor	24			5 939,5	6 120,0
Inspectores	4			975,7	1 020,0

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13. Ganancias de calor debidas a ocupantes por recinto, niveles 03 y 04

Recinto	Cantidad	Tasas de ganancias (BTU/h/persona)		RSHG (BTU/h)	RLHG (BTU/h)
		Sensibles	Latentes		
Oficina del Alcalde	5	255	255	1 182,4	1 275,0
Sala de Reuniones	8			1 967,0	2 040,0
Director Administrativo	7			1 648,9	1 785,0
Sala de Espera	6			1 446,7	1 530,0
Oficina Libre	3			728,5	765,0
Asesor del Alcalde	1			241,1	255,0
Asistente del Vice-alcalde	1			241,1	255,0
Oficina de Vice-alcalde	3			723,4	765,0
Audiovisuales	1			235,0	255,0
Consejo Municipal	56			12 437,3	14 280,0
Secretaría Consejo	2			486,2	510,0
Presidencia Municipal	1			241,1	255,0
Auditoría	1			255	255
Oficina Libre	3	733,6	765,0		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 14. Ganancias de calor debidas a infiltración en puertas por recinto, nivel 01

Recinto	Tasa de infiltración (cfm/ft)	Ranura (ft)	RSHG (BTU/h)	RLHG (BTU/h)
Bienes Inmuebles	1,0	19,40	230,50	402,40
Plataforma de Servicios		19,40	230,50	402,40
Área de espera		53,60	636,70	1 111,60
Cajas		19,40	229,90	401,40
Tesorería		19,40	229,90	401,40
Ambiente		18,70	222,10	387,80
Unidad Técnica de Gestión Vial		19,40	229,90	401,40
Desarrollo Urbano		38,70	459,80	802,70
Proyectos		19,20	228,10	398,30
Proveeduría		37,40	444,20	775,50
Proveedor		19,40	229,90	401,40
Catastro		19,40	229,90	401,40

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15. Ganancias de calor debidas a infiltración en puertas por recinto, nivel 02

Recinto	Tasa de infiltración (cfm/ft)	Ranura (ft)	RSHG (BTU/h)	RLHG (BTU/h)
Recursos Humanos	1,0	19,40	229,90	401,40
Informática		19,40	230,50	402,40
Telecomunicación		19,40	229,90	401,40
Oficina Asesoría Legal		19,40	229,90	401,40
Presupuesto		19,40	229,90	401,40
Salud Ocupacional		19,40	229,90	401,40
Sala Reunión		19,40	229,90	401,40
Contabilidad		19,40	230,50	402,40
Oficina de la Mujer #1		20,30	241,60	421,70
Oficina de la Mujer #2		19,68	233,80	408,20
Archivo		19,68	233,80	408,20
Comedor		23,00	272,80	476,20
Inspectores		19,68	233,80	408,20

Fuente: Elaboración propia

Tabla 16. Ganancias de calor debidas a infiltración en puertas por recinto, niveles 03 y 04

Recinto	Tasa de infiltración (cfm/ft)	Ranura (ft)	RSHG (BTU/h)	RLHG (BTU/h)
Oficina del Alcalde	1,0	19,68	233,80	408,20
Sala de Reuniones		19,70	234,00	408,60
Director Administrativo		19,68	233,80	408,20
Sala de Espera		24,93	296,10	517,00
Oficina Libre		19,68	233,80	408,20
Asesor del Alcalde		19,68	233,80	408,20
Asistente del Vice-alcalde		19,68	233,80	408,20
Oficina de Vice-alcalde		19,68	233,80	408,20
Audiovisuales		19,40	230,50	402,40
Consejo Municipal		26,24	311,70	544,20
Secretaría Consejo		19,68	233,80	408,20
Presidencia Municipal		19,68	233,80	408,20
Auditoría	1,0	19,68	233,80	408,20
Oficina Libre		19,68	233,80	408,20

Fuente: Elaboración propia

#### 4.4 Carga de refrigeración

A las ganancias de calor totales por recinto anteriores se les debe añadir la carga de ventilación de ocupantes y el calor producido por los ventiladores del sistema de acondicionamiento de aire.

##### *Ventilación de ocupantes*

Para calcular la ventilación de los ocupantes es necesario conocer, según ASHRAE, los rangos mínimos de cambios de aire en zonas de respiración. Este cálculo puede realizarse de tres formas distintas; sin embargo, se selecciona la que utiliza el flujo de aire por pie cuadrado del recinto. Esta tabla de ASHRAE se encuentra en el anexo 9.

##### *Calor desprendido por ventiladores*

Según Pita, en la sección 6.19 de su libro, para una presión de 1 pulgada de columna de agua se debe agregar un 2,5% a la ganancia total de calor sensible (RSHG).

En las siguientes tablas se presentan las cargas de ventilación a sumar a la carga de refrigeración, la cual consiste en las ganancias totales de calor. El equivalente en unidades del SI se muestra en el apéndice 2.

Tabla 17. Carga de refrigeración debida a ventilación de ocupantes y forzada, nivel 01

Recinto	Tasa mínima de aire exterior (cfm/ft)	Área de piso (ft <sup>2</sup> )	RSHG <sub>ocupantes</sub> (BTU/h)	RSHG <sub>vent forzada</sub> (BTU/h)	RLHG (BTU/h)
Bienes Inmuebles	0,06	327,4	233	311	407
Plataforma de Servicios		242,2	173	309	301
Área de espera		759,5	541	670	945
Cajas		157,2	112	91	196
Tesorería		171,1	123	161	214
Ambiente		155,0	110	193	193
UTGV		235,0	167	221	292
Desarrollo Urbano		167,3	119	196	208
Proyectos		127,4	91	176	159
Proveeduría		283,3	202	215	353
Proveedor		102,3	73	119	127
Catastro		161,5	112	175	196

Fuente: Elaboración propia

Tabla 18. Carga de refrigeración debida a ventilación de ocupantes y forzada, nivel 02

Recinto	Tasa mínima de aire exterior (cfm/ft)	Área de piso (ft <sup>2</sup> )	RSHG <sub>ocupantes</sub> (BTU/h)	RSHG <sub>vent forzada</sub> (BTU/h)	RLHG (BTU/h)
Recursos Humanos	0,06	207,9	148	343	259
Informática		233,6	166	237	291
Telecomunicación		71,4	51	153	89
Oficina Asesoría Legal		160,8	115	213	200
Presupuesto		177,6	127	124	221
Salud Ocupacional		100,8	72	120	125
Sala Reunión		205,7	147	327	256
Contabilidad		232,4	166	297	289
Oficina de la Mujer #1		135,6	97	195	169
Oficina de la Mujer #2		113,0	81	166	141
Archivo		292,8	209	273	364
Comedor		349,1	249	758	434
Inspectores		211,7	151	226	263

Fuente: Elaboración propia

Tabla 19. Carga de refrigeración debida a ventilación de ocupantes y forzada, niveles 03 y 04

Recinto	Tasa mínima de aire exterior (cfm/ft)	Área de piso (ft <sup>2</sup> )	RSHG <sub>ocupantes</sub> (BTU/h)	RSHG <sub>vent forzada</sub> (BTU/h)	RLHG (BTU/h)
Oficina del Alcalde	0,06	219,6	157	247	273
Sala de Reuniones		227,7	193	331	337
Director Administrativo		186,6	133	227	232
Sala de Espera		305,3	218	154	380
Oficina Libre		180,5	129	167	225
Asesor del Alcalde		79,1	56	81	98
Asistente del Vice-alcalde		79,1	56	81	98
Oficina de Vice-alcalde		146,9	105	124	183
Audiovisuales		45,2	32	138	56
Consejo Municipal		1 409,0	1 004	1 110	1 753
Secretaría Consejo		130,0	93	164	162
Presidencia Municipal		86,1	61	77	107
Auditoría		0,06	193,6	138	191
Oficina Libre	113,7		81	122	141

Fuente: Elaboración propia

#### 4.4.1 Cálculo manual mediante método ASHRAE

En las tablas a continuación se muestran las cargas sensibles y latentes totales, por recinto y por nivel, en BTU/h y en tons. Ver apéndice 3 para equivalencias en unidades del SI.

Tabla 20. Cargas totales de calor sensible y latente por recinto, nivel 01

<b>Recinto</b>	<b>GSHG (BTU/h)</b>	<b>GLHG (BTU/h)</b>
Bienes Inmuebles	14 304	1 830
Plataforma de Servicios	14 537	1 979
Área de espera	24 486	7 667
Cajas	4 532	1 107
Tesorería	7 367	1 126
Ambiente	8 703	1 601
UTGV	10 242	1 714
Desarrollo Urbano	8 142	1 521
Proyectos	7 468	1 067
Proveeduría	10 574	2 403
Proveedor	5 229	1 039
Catastro	7 991	1 617

Fuente: Elaboración propia

Tabla 21. Cargas totales de calor sensible y latente por recinto, nivel 02

<b>Recinto</b>	<b>GSHG (BTU/h)</b>	<b>GLHG (BTU/h)</b>
Recursos Humanos	15 301	1 680
Informática	12 987	1 458
Telecomunicación	7 380	745
Oficina Asesoría Legal	10 151	1 621
Presupuesto	5 832	1 132
Salud Ocupacional	5 871	1 037
Sala Reunión	15 453	3 207
Contabilidad	14 119	1 712
Oficina de la Mujer #1	8 867	1 355
Oficina de la Mujer #2	7 110	1 314
Archivo	15 575	1 792
Comedor	32 601	7 031
Inspectores	10 578	1 692

Fuente: Elaboración propia

Tabla 22. Cargas totales de calor sensible y latente por recinto, niveles 03 y 04

<b>Recinto</b>	<b>GSHG (BTU/h)</b>	<b>GLHG (BTU/h)</b>
Oficina del Alcalde	10 741	1 956
Sala de Reuniones	15 380	2 785
Director Administrativo	10 026	2 425
Sala de Espera	7 956	2 427
Oficina Libre	8 264	1 398
Asesor del Alcalde	4 367	762
Asistente del Vice-alcalde	4 367	762
Oficina de Vice-alcalde	5 917	1 356
Audiovisuales	6 176	714
Consejo Municipal	46 848	16 578
Secretaría Consejo	6 978	1 080
Presidencia Municipal	3 526	770
Auditoría	7 873	904
Oficina Libre	5 285	1 315

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 23, se encuentran las cargas totales de refrigeración por recinto, tanto en BTU/h como en toneladas de refrigeración, para mostrar un mejor panorama de la carga requerida por recinto.

Tabla 23. Cargas de refrigeración totales por recinto, método ASHRAE

<b>Recinto</b>	<b>GTHG (BTU/h)</b>	<b>GTHG (tons)</b>
Bienes Inmuebles	16 133	1,34
Plataforma de Servicios	16 515	1,38
Área de espera	32 152	2,68
Cajas	5 639	0,47
Tesorería	8 493	0,71
Ambiente	10 304	0,86
Unidad Técnica de Gestión Vial	11 956	1,00
Desarrollo Urbano	9 662	0,81
Proyectos	8 535	0,71
Proveeduría	12 977	1,08
Proveedor	6 268	0,52
Catastro	9 608	0,80
Recursos Humanos	16 981	1,42
Informática	14 445	1,20
Telecomunicación	8 125	0,68
Oficina Asesoría Legal	11 772	0,98
Presupuesto	6 965	0,58
Salud Ocupacional	6 908	0,58
Sala Reunión	18 661	1,56
Contabilidad	15 831	1,32
Oficina de la Mujer #1	10 222	0,85
Oficina de la Mujer #2	8 424	0,70
Archivo	17 368	1,45
Comedor	39 631	3,30
Inspectores	12 270	1,02
Oficina del Alcalde	12 698	1,06
Sala de Reuniones	18 165	1,51
Director Administrativo	12 451	1,04
Sala de Espera	10 383	0,87
Oficina Libre	9 662	0,81
Asesor del Alcalde	5 129	0,43
Asistente del Vice-alcalde	5 129	0,43
Oficina de Vice-alcalde	7 273	0,61
Audiovisuales	6 890	0,57
Consejo Municipal	63 425	5,29
Secretaría Consejo	8 058	0,67
Presidencia Municipal	4 296	0,36
Auditoría	8 777	0,73
Oficina Libre	6 600	0,55
<b>Carga Total</b>	<b>514 781</b>	<b>42,90</b>

Fuente: Elaboración propia

Al realizar una sumatoria de la carga en cada recinto, se obtiene una cantidad total de 42,90 toneladas de refrigerante.

#### **4.4.2 Cálculo mediante software HAP**

En la tabla 24 se muestra el resumen de las cargas térmicas totales por recinto, calculadas mediante el software Hourly Analysis Program del fabricante Carrier, tanto en BTU/h como en tons. En el apéndice 5, se muestran los resultados equivalentes en unidades del SI.

Al realizar la sumatoria de las cargas de enfriamiento, se obtiene un valor total de 43,66 toneladas de refrigerante.

Si se realiza una comparación entre esta cantidad y la calculada manualmente mediante el método ASHRAE, se encuentra una variación del 1,8%. En la tabla 25, se muestra el resumen de las cargas totales en toneladas de refrigerante para realizar una comparación más rápida entre el software y el cálculo manual.

Tabla 24. Cargas de refrigeración totales por recinto, software HAP

<b>Recinto</b>	<b>GTHG (BTU/h)</b>	<b>GTHG (tons)</b>
Bienes Inmuebles	16 774	1,40
Plataforma de Servicios	17 232	1,44
Área de espera	34 828	2,90
Cajas	5 835	0,49
Tesorería	9 724	0,81
Ambiente	10 772	0,90
Unidad Técnica de Gestión Vial	13 076	1,09
Desarrollo Urbano	10 309	0,86
Proyectos	8 434	0,70
Proveeduría	12 376	1,03
Proveedor	6 380	0,53
Catastro	10 872	0,91
Recursos Humanos	15 610	1,30
Informática	14 343	1,20
Telecomunicación	8 298	0,69
Oficina Asesoría Legal	12 000	1,00
Presupuesto	7 404	0,62
Salud Ocupacional	7 472	0,62
Sala Reunión	19 533	1,63
Contabilidad	15 691	1,31
Oficina de la Mujer #1	10 652	0,89
Oficina de la Mujer #2	8 072	0,67
Archivo	16 461	1,37
Comedor	39 273	3,27
Inspectores	13 303	1,11
Oficina del Alcalde	12 277	1,02
Sala de Reuniones	17 905	1,49
Director Administrativo	12 931	1,08
Sala de Espera	10 285	0,86
Oficina Libre	9 561	0,80
Asesor del Alcalde	5 262	0,44
Asistente del Vice-alcalde	5 262	0,44
Oficina de Vice-alcalde	7 570	0,63
Audiovisuales	6 433	0,54
Consejo Municipal	63 101	5,26
Secretaría Consejo	8 283	0,69
Presidencia Municipal	4 804	0,40
Auditoría	8 176	0,68
Oficina Libre	7 394	0,62
<b>Carga Total</b>	<b>523 968</b>	<b>43,66</b>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 25. Comparación de carga total de enfriamiento según método de cálculo

<b>Recinto</b>	<b>GTHG (tons)</b>	<b>GTHG HAP (tons)</b>
Bienes Inmuebles	1,34	1,40
Plataforma de Servicios	1,38	1,44
Área de espera	2,68	2,90
Cajas	0,47	0,49
Tesorería	0,71	0,81
Ambiente	0,86	0,90
Unidad Técnica de Gestión Vial	1,00	1,09
Desarrollo Urbano	0,81	0,86
Proyectos	0,71	0,70
Proveeduría	1,08	1,03
Proveedor	0,52	0,53
Catastro	0,80	0,91
Recursos Humanos	1,42	1,30
Informática	1,20	1,20
Telecomunicación	0,68	0,69
Oficina Asesoría Legal	0,98	1,00
Presupuesto	0,58	0,62
Salud Ocupacional	0,58	0,62
Sala Reunión	1,56	1,63
Contabilidad	1,32	1,31
Oficina de la Mujer #1	0,85	0,89
Oficina de la Mujer #2	0,70	0,67
Archivo	1,45	1,37
Comedor	3,30	3,27
Inspectores	1,02	1,11
Oficina del Alcalde	1,06	1,02
Sala de Reuniones	1,51	1,49
Director Administrativo	1,04	1,08
Sala de Espera	0,87	0,86
Oficina Libre	0,81	0,80
Asesor del Alcalde	0,43	0,44
Asistente del Vice-alcalde	0,43	0,44
Oficina de Vice-alcalde	0,61	0,63
Audiovisuales	0,57	0,54
Consejo Municipal	5,29	5,26
Secretaría Consejo	0,67	0,69
Presidencia Municipal	0,36	0,40
Auditoría	0,73	0,68
Oficina Libre	0,55	0,62

Fuente: Elaboración propia

Las variaciones pueden deberse a que tanto la ubicación del sistema como las temperaturas promedio del lugar son tomadas de la base de datos del software HAP y este no incluye a Costa Rica, debido a lo anterior, se debe seleccionar a Panamá para poder realizar el análisis de carga térmica. Sin embargo, es posible utilizarlo por la cercanía geográfica pues es en la vertiente del Pacífico y por tener alturas similares sobre el nivel del mar. Además, el software elige automáticamente de dicha base de datos, el mes y la hora para efectuar el diseño.

#### 4.5 Comparación de sistemas de expansión directa y agua helada

Los sistemas de expansión directa pueden dividirse según el tipo de equipos en sencillo, inverter y volumen variable de refrigerante. A continuación, se mostrará una comparación realizada entre equipos tipo inverter, equipos de tipo volumen de refrigerante variable y sistema de agua helada con chiller enfriado por aire, en cuanto a eficiencia y costos, con el fin de demostrar que los VRF son la mejor opción para el edificio en cuestión.

Se utiliza el chiller enfriado por aire para comparar, debido a que como la capacidad requerida de enfriamiento es relativamente pequeña (inferior a 60 toneladas de refrigeración), no vale la pena el costo inicial tan elevado de un sistema de agua helada con chiller enfriado por agua, a causa de los altos costos de la torre de enfriamiento, las bombas de condensado, equipos para tratamiento del agua, válvulas y sus accesorios; y en operación los costos se elevan por el tratamiento que se le debe dar al agua que se dirige a la torre de enfriamiento, también a que se pierde masa por ser un sistema abierto debido a la torre de enfriamiento entonces el consumo de agua no es constante, y se debe dar mayor mantenimiento que a un chiller enfriado por aire para evitar incrustaciones y otros problemas causados por el uso de agua para condensar el refrigerante.

Para realizar la toma de decisiones con respecto a la mejor opción de sistema y tecnología que se implementará en el diseño para el edificio municipal de Corredores, se presenta un resumen de lo que sería la inversión inicial de cada sistema.

Tabla 26. Comparación de inversión inicial entre tecnologías tipo VRF, Inverter y chiller

Sistema	kW/ton	Inversión Inicial	Costo por ton	Inversión Inicial	Costo por ton
VRF	1,11	\$90 291,01	\$2 257,28	¢52 278 496	¢1 306 962
Inverter	1,11	\$74 316,01	\$1 415,54	¢42 731 704	¢813 937
Agua helada	1,05	\$121 936,36	\$2 438,73	¢70 113 407	¢1 402 268

Fuente: Elaboración propia

Según la tabla 26, el precio por tonelada para cada sistema sería el siguiente; para el sistema de volumen variable de refrigerante es de \$2 257,28 (¢1 306 962), para el sistema inverter es de \$1 415,54 (¢813 937), y para el sistema de agua helada es de \$2 438,73 (¢1 402 268). A pesar de que la inversión inicial mediante el sistema de tecnología Inverter parece ser más barato, se va a realizar un análisis económico para comprobar cuál sistema es la mejor opción. Se utiliza el tipo de cambio del día 30 de agosto del 2018 según el Banco Central de Costa Rica, para el cual, \$1 equivale a ¢579.

Con respecto a la eficiencia energética, se observa en la tabla 27 (ver anexo 21) que el condensador tipo VRF a pesar de no ser el más eficiente posee el menor consumo eléctrico según datos de la tabla 28. Además, al haber dos condensadores con un valor relativamente alto de EER para el caso del VRF comparado con los quipos Inverter, que por ser uno a uno (una unidad evaporadora por cada condensador) poseen valores de EER variados e inferiores, se obtendrá una factura más baja en el sistema de volumen de refrigerante variable.

Tabla 27. Comparación de relación de eficiencia energética entre condensadoras de tipo VRF, Inverter y chiller

Tipo	Unidad Condensadora	Marca	Modelo	Capacidad (tons)	EER (BTU/h/W)
VRF	Condensador VRF	Lennox	VEP240C432Y	40	10,8
Agua helada	Chiller	Dunham-Bush	ACDS050ARGSN	50	11,0
Inverter	Cassette 4 vías	Lennox	LICH4018180P431	4	10
	Cassette 4 vías	Lennox	LICH4048180P431	1,5	12,5
	Pared Alta	Lennox	LI012CO-180P432	1	10,4
	Pared Alta	Lennox	LI018CO-180P432	1,5	9,9

Fuente: Elaboración propia

Al calcular los kW totales por sistema, a partir de los kW/ton, se obtiene que anualmente los costos de operación en cuanto a consumo energético para el sistema VRF son de \$30 018 (¢17 380 239), para el sistema Inverter son de \$35 441 (¢20 378 371), y para el de agua helada son de \$39 147 (¢22 509 465). La compensación anual mínima por instalar equipos de volumen de refrigerante variable es de \$5 178 (¢2 998 132), y la máxima sería de \$8 859 (¢5 129 226). En la tabla 29 se muestran los datos detallados.

Tabla 28. Consumo eléctrico anual de los compresores VRF, Inverter y chiller

Unidad condensadora	Tipo	Capacidad (tons)	kW/ton	kW	kW <sub>totales</sub>	kWh/año
Condensador	VRF	40	1,11	22,22	44,44	127 987,20
Chiller	Agua helada	50	1,05	52,63	52,63	151 574,40
Cassette 4 vías	Inverter	4	1,26	5,05	58,45	168 340,36
Cassette 4 vías		1,5	0,96	1,44		
Pared Alta		1	1,15	1,15		
Pared Alta		1,5	1,21	1,82		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 29. Costos del consumo eléctrico anual por sistema, en colones y dólares

Sistema	kW <sub>totales</sub>	kWh/año (₡)	kW/año (₡)	Consumo eléctrico al año	Consumo eléctrico al año
VRF	44,44	₡10 091 151	₡7 289 089	₡17 380 239	\$30 017,68
Agua helada	52,63	₡11 950 884	₡8 427 488	₡20 378 371	\$35 195,81
Inverter	58,45	₡13 272 795	₡9 236 670	₡22 509 465	\$38 876,45

Fuente: Elaboración propia

Para tener un mejor panorama de los gastos totales por sistema, se muestra la siguiente tabla resumen que incluye la inversión inicial, los costos de consumo eléctrico anual, de operación y mantenimiento anuales; de cada sistema.

Se realiza también un análisis financiero de los costos a valor presente, tomando como plazos, cinco y quince años, para mostrar el valor actual que representaría el impacto financiero de implementar cada sistema a lo largo de esos periodos. Todo se muestra en la tabla 30 para colones y en la tabla 31 para dólares.

Tabla 30. Comparación del impacto financiero por sistema en colones

Sistema	VRF	Agua helada	Inverter
<b>Inversión inicial</b>	¢52 278 496	¢70 113 407	¢42 731 704
<b>Costos de consumo eléctrico</b>	¢17 380 239	¢20 378 371	¢22 509 465
<b>Costos de operación</b>	¢12 034 890	¢26 386 000	¢18 657 430
<b>Costos de mantenimiento</b>	¢8 337 600	¢9 958 800	¢9 264 000
<b>Valor presente (5 años)</b>	¢169 594 916	¢247 221 725	¢125 612 169
<b>Valor presente (15 años)</b>	¢228 578 300	¢335 671 859	¢280 386 736

Fuente: Elaboración propia

Tabla 31. Comparación del impacto financiero por sistema en dólares

Sistema	VRF	Agua helada	Inverter
<b>Inversión inicial</b>	\$90 291	\$121 094	\$73 803
<b>Costos de consumo eléctrico</b>	\$30 018	\$35 196	\$38 876
<b>Costos de operación</b>	\$20 786	\$45 572	\$32 224
<b>Costos de mantenimiento</b>	\$14 400	\$17 200	\$16 000
<b>Valor presente (5 años)</b>	\$292 919	\$426 981	\$216 947
<b>Valor presente (15 años)</b>	\$394 781	\$579 744	\$484 260

Fuente: Elaboración propia

Se observa que al evaluar el impacto financiero a largo plazo (15 años), resulta ser el sistema VRF, la mejor opción disponible, ya que, en ese tiempo debido a costos de mantenimiento y operación, las demás opciones se vuelven descartables. Si se comparan los costos de valor presente a 5 años entre el VRF y el sistema de agua helada con chiller enfriado por aire, se obtiene que, en ese periodo, prácticamente se recupera casi una vez y media la inversión inicial del sistema de volumen de refrigerante variable con el ahorro de \$134 070 (¢77 626 809). Además, dado a que con el sistema de tecnología Inverter, se deben colocar más de 40 condensadores, no es viable pues no hay suficiente espacio en la azotea y tendría un impacto en la estética del edificio si se colocan a los lados.

## 4.6 Selección de equipos

Esta sección posee un listado de los equipos seleccionados a partir de las cargas de enfriamiento calculadas, la geometría de cada recinto y ubicación de escritorios o personas. La selección se realizó mediante el software del fabricante Lennox llamado VRF Selector. Para las oficinas pequeñas, se seleccionan mini splits y para las que son más grandes, se utilizan cassettes de cuatro vías pues distribuyen el aire en más direcciones.

La selección se divide en dos sistemas con una capacidad de 240 000 BTU/h cada uno, un sistema cubrirá todas las unidades evaporadoras del lado derecho del edificio y el otro, cubrirá las del lado izquierdo, la distribución se muestra en la tabla 35. La marca de los equipos a utilizar es Lennox. El resultado de la selección del reporte en el programa, se muestra en las tablas 32 y 33.

Tabla 32. Selección de equipos interiores y exteriores para el sistema del lado izquierdo

Qty	Model	Description
1	14C51 + 14C51 VEP240C432Y	Lennox VRF Heat Pump, 208/230V-3ph-60Hz (Certified)
6	14C64 VEHW012C432P	Wall Mounted Type
5	14C63 VEHW009C432P	Wall Mounted Type
4	14C62 VEHW007C432P	Wall Mounted Type
4	14C69 VE4C018C432P	4-Way Cassette Type
1	14C65 VEHW018C432P	Wall Mounted Type
1	14C73 VE4C042C432P	4-Way Cassette Type

Fuente: (Gree Electric Appliances Inc., 2016)

Tabla 33. Selección de equipos interiores y exteriores para el sistema del lado derecho

Qty	Model	Description
1	14C51 + 14C51 VEP240C432Y	Lennox VRF Heat Pump, 208/230V-3ph-60Hz (Certified)
6	14C62 VEHW007C432P	Wall Mounted Type
1	14C64 VEHW012C432P	Wall Mounted Type
2	14C63 VEHW009C432P	Wall Mounted Type
6	14C69 VE4C018C432P	4-Way Cassette Type
4	14C65 VEHW018C432P	Wall Mounted Type
1	14C70 VE4C024C432P	4-Way Cassette Type
1	14C68 VE4C012C432P	4-Way Cassette Type

Fuente: (Gree Electric Appliances Inc., 2016)

Tabla 34. Selección de equipos interiores y exteriores del edificio

<b>Recinto</b>	<b>Equipo</b>	<b>Modelo</b>	<b>Capacidad [BTU/h]</b>
Bienes Inmuebles	Cassette 4 vías	VE4C018C432P	18 000
Plataforma de Servicios	Cassette 4 vías	VE4C018C432P	18 000
Área de espera	Cassette 4 vías	VE4C018C432P	18 000
Cajas	Cassette 4 vías	VE4C018C432P	18 000
Tesorería	Pared Alta	VEHW009C432P	9 500
Ambiente	Pared Alta	VEHW0012C432P	12 000
UTGV	Pared Alta	VEHW0012C432P	12 000
Desarrollo Urbano	Pared Alta	VEHW0012C432P	12 000
Proyectos	Pared Alta	VEHW009C432P	9 500
Proveeduría	Pared Alta	VEHW0012C432P	12 000
Proveedor	Pared Alta	VEHW007C432P	7 500
Catastro	Pared Alta	VEHW009C432P	9 500
Recursos Humanos	Pared Alta	VEHW0018C432P	18 000
Informática	Cassette 4 vías	VE4C018C432P	18 000
Telecomunicación	Pared Alta	VEHW007C432P	7 500
Oficina Asesoría Legal	Pared Alta	VEHW0012C432P	12 000
Presupuesto	Pared Alta	VEHW007C432P	7 500
Salud Ocupacional	Pared Alta	VEHW007C432P	7 500
Sala Reunión	Cassette 4 vías	VE4C024C432P	24 000
Contabilidad	Pared Alta	VEHW0018C432P	18 000
Oficina de la Mujer #1	Pared Alta	VEHW0012C432P	12 000
Oficina de la Mujer #2	Pared Alta	VEHW009C432P	9 500
Archivo	Pared Alta	VEHW0018C432P	18 000
Comedor	Cassette 4 vías	VE4C042C432P	42 000
Inspectores	Pared Alta	VEHW0012C432P	12 000
Oficina del Alcalde	Pared Alta	VEHW0018C432P	18 000
Sala de Reuniones	Cassette 4 vías	VE4C018C432P	18 000
Director Administrativo	Pared Alta	VEHW0018C432P	18 000
Sala de Espera	Cassette 4 vías	VE4C012C432P	12 000
Oficina Libre	Pared Alta	VEHW009C432P	9 500
Asesor del Alcalde	Pared Alta	VEHW007C432P	7 500
Asistente del Vice-alcalde	Pared Alta	VEHW007C432P	7 500
Oficina de Vice-alcalde	Pared Alta	VEHW007C432P	7 500
Audiovisuales	Pared Alta	VEHW007C432P	7 500
Consejo Municipal	4 x Cassette 4 vías	VE4C018C432P	18 000
Secretaría Consejo	Pared Alta	VEHW009C432P	9 500
Presidencia Municipal	Pared Alta	VEHW007C432P	7 500
Auditoría	Pared Alta	VEHW009C432P	9 500
Oficina Libre	Pared Alta	VEHW007C432P	7 500
Condensador Sistema Derecha	Condensador VRF	14C51 + 14C51 VEP240C432Y	240 000
Condensador Sistema Izquierda	Condensador VRF	14C51 + 14C51 VEP240C432Y	240 000

Fuente: Elaboración propia

Tabla 35. Distribución de las unidades evaporadoras

Sistema Lado Derecho		Sistema Lado Izquierdo	
Bienes Inmuebles	UE-01	Ambiente	UE-06
Plataforma de Servicios	UE-02	UTGV	UE-07
Área de espera	UE-03	Desarrollo Urbano	UE-08
Cajas	UE-04	Proyectos	UE-09
Tesorería	UE-05	Proveeduría	UE-10
Recursos Humanos	UE-13	Proveedor	UE-11
Informática	UE-14	Catastro	UE-12
Telecomunicación	UE-15	Oficina de la Mujer #1	UE-21
Oficina Asesoría Legal	UE-16	Oficina de la Mujer #2	UE-22
Presupuesto	UE-17	Archivo	UE-23
Salud Ocupacional	UE-18	Comedor	UE-24
Sala Reunión	UE-19	Inspectores	UE-25
Contabilidad	UE-20	Audiovisuales	UE-34
Oficina del Alcalde	UE-26	Consejo Municipal	UE-35
Sala de Reuniones	UE-27	Consejo Municipal	UE-36
Director Administrativo	UE-28	Consejo Municipal	UE-37
Sala de Espera	UE-29	Consejo Municipal	UE-38
Oficina Libre	UE-30	Secretaría Consejo	UE-39
Asesor del Alcalde	UE-31	Presidencia Municipal	UE-40
Asistente del Vice-alcalde	UE-32	Auditoría	UE-41
Oficina de Vice-alcalde	UE-33	Oficina Libre	UE-42

Fuente: Elaboración propia

Se debió dividir el sistema debido a que según el manual de instalación del fabricante para sistemas VRF, no es posible superar los 40 m (131,2 ft) entre el primer ramal y la evaporadora más lejana. (Lennox, 2016)

Las unidades condensadoras se seleccionan de una capacidad menor a la de la suma de todas las cargas, debido a que según ASHRAE, debe tomarse en cuenta el factor de diversidad; el cual se define como la relación máxima de que todos los equipos se utilicen simultáneamente. Este factor, se recomienda que sea de aproximadamente el 85% de la carga total. (ASHRAE, 2001). Debido a que solo se cuenta con condensadores de 8 toneladas de refrigerante y luego se tienen de 10 toneladas, se deben seleccionar dos unidades de 10 toneladas cada una para cumplir con al menos 240 000 toneladas totales, por sistema.

En lo que se refiere a la ubicación de los equipos, las unidades evaporadoras se colocarán en el entre cielo de cada recinto, a excepción de los mini splits que son de pared alta. Las unidades condensadoras se ubicarán en la azotea aproximadamente a 0,20 m por encima del nivel de piso terminado sobre una base de concreto. La selección de los equipos del fabricante Lennox se muestra del anexo 19 al 20.

#### **4.7 Cronograma de Mantenimiento**

El mantenimiento es crucial para preservar y alargar la vida útil de los equipos; debido a lo anterior, la rutina de mantenimiento se debe hacer trimestral. En cada visita, el mantenimiento deberá ser el siguiente para cada uno de los dos sistemas VRF.

##### **4.7.1 Unidades Evaporadoras**

- Lectura de voltaje y amperaje en los motores.
- Limpieza o cambio de filtros.
- Lavado de serpentines.
- Limpieza y revisión de tarjetas y componentes eléctricos y electrónicos con nitrógeno (contactores, relevadoras, capacitores, etc.)
- Limpieza de las carátulas y exteriores de las unidades.
- Limpieza del elemento impulsor de aire.
- Ajuste o cambio de terminales dañadas según se requiera.
- Limpieza de motores.
- Verificación del estado de los roles y soportes.
- Verificación del funcionamiento del termostato.
- Inspección del estado físico de la unidad.
- Inspección del aislamiento interno.
- Limpieza e inspección del funcionamiento de la bomba de condensado de cada unidad.

#### 4.7.2 Unidad Condensadora

- Revisión de parámetros para el correcto funcionamiento: presión de succión, temperatura en línea de succión, presión de descarga, voltaje, amperaje, nivel de aceite.
- Lavado de serpentines.
- Limpieza y revisión de componentes eléctricos y electrónicos (contactores, relés, capacitores, etc.)
- Inspección de sensores.
- Inspección del estado físico y limpieza externa de la unidad: corrosión, deterioros de pintura.
- Limpieza y revisión de funcionamiento de ventiladores, verificación del estado de las aspas.
- Verificación del panel de control, cierres y juntas.
- Cambio de terminales dañadas.
- Revisión y limpieza externa de motores.
- Lubricación de motores cuando se requiera.
- Revisión del estado de los rodamientos, soportes.
- Revisión del compresor.
- Revisión de soportes del compresor.
- Inspección de las válvulas de servicio, solenoides, de retención frigoríficas.
- Verificación de ausencia de fugas en el sistema.
- Chequeo sobre existencia de ruidos o vibraciones anómalas en los equipos.
- Revisión de reportes del usuario referentes a fallas observadas, alarmas acumuladas.
- Limpieza y revisión del estado de las aletas.
- Verificación del estado de tuberías de refrigeración y drenaje.

## 5. Conclusiones

1. Se diseñó un sistema de aire acondicionado que cumpliera con la normativa ASHRAE, para las oficinas administrativas del edificio municipal de Corredores mediante tecnología de volumen de refrigerante variable con sistema de control centralizado.
2. Se comparó teóricamente la tecnología de volumen de refrigerante variable, expansión directa inverter y agua helada, con lo cual, resulta ser el VRF la mejor opción en cuanto a costos, eficiencia energética y factores ambientales.
3. Se generó la propuesta financiera de la implementación del sistema de aire acondicionado de volumen de refrigerante variable, esta es de \$90 291 (C\$52 278 496).
4. Se elaboró un cronograma de mantenimiento para el sistema de aire acondicionado diseñado, el cual sería trimestral.

## 5. Recomendaciones

1. Todos los equipos deberían contar con certificado AHRI (Air-conditioning, Heating, & Refrigeration Institute), los cuales cercioran su buen funcionamiento y rendimiento.
2. Todos los equipos deberían estar listados también en UL o ETL para garantizar su operación.
3. Los soportes para tuberías deben colocarse a no más de 1,5 m entre sí.
4. Se deberían aislar ambas líneas de refrigerante, tanto la de succión como la de descarga, en cañuelas de 19 mm de espesor por separado.
5. Para proteger el aislamiento de las tuberías deberá poseer una camisa de PVC de un ancho considerable entre la gasa y el aislamiento.
6. Es necesario realizar las rutinas de mantenimiento para prolongar la vida de los equipos y mantener su óptimo funcionamiento.
7. Las unidades evaporadoras tipo cassette que se soporten a más de 30 cm desde la estructura del cielo, deben contar con bisagras antisísmicas.
8. Cada unidad evaporadora deberá contar con su respectiva bomba de condensados.

## 9. Bibliografía

- AHRI. (2018). *AHRI DIRECTORY OF CERTIFIED PRODUCT PERFORMANCE*. Retrieved from AHRI CERTIFIED: <https://www.ahridirectory.org/Search/SearchHome?ReturnUrl=%2f>
- ASHRAE. (1999). *ASHRAE Standard 90.1*. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.
- ASHRAE. (2001). *ASHRAE HVAC Handbook—Fundamentals*. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
- ASHRAE. (2007). *ANSI/ASHRAE/IESNA Standard 90.1: Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings*. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.
- ASHRAE. (2007). *Estándar ANSI/ASHRAE 62.1: Ventilación para una calidad aceptable de aire interior*. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.
- ASHRAE. (2007, Enero). *Psychrometric Analysis Program, Professional Edition*. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.
- ASHRAE. (2009). *ASHRAE Handbook—Fundamentals* (Inch-Pound ed.). Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
- ASHRAE. (2010). *ANSI/ASHRAE Standard 55: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.
- ASHRAE. (2010). *ASHRAE Handbook—Refrigeration* (SI Español ed.). Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
- Bhatia, A. (n.d.). *HVAC Variable Refrigerant Flow Systems: HVAC Systems and Equipment CED Engineering*. Retrieved from Continuing Education and Development, Inc.:

<https://www.cedengineering.com/courses/hvac-variable-refrigerant-flow-vrf-systems>

Carrier Corporation. (2013). Hourly Analysis Program 4.80. Florida, Estados Unidos.

Çengel, Y. A., & Boles, A. M. (2009). *Termodinámica*. México D.F.: McGraw-Hill.

Climatización G&A. (n.d.). *Unidad de Tratamiento de Aire (UTA): Climatización G&A*. Retrieved from Climatización G&A: <http://climatizaciongya.com/servicios/unidad-de-tratamiento-de-aire-uta/>

CNFL. (2018, Junio 27). *Tarifas Vigentes: Compañía Nacional de Fuerza y Luz, S.A.* Retrieved from CNFL: <https://www.cnfl.go.cr/tarifas-vigentes>

Gree Electric Appliances Inc. (2016). LENNOX VRF Selector. Zhuhai, Guangdong, China.

Laboratorio de Eficiencia energética del ICE. (2017, Abril). *Eficiencia Energética de las nuevas tecnologías en el sector RAC y sus regulaciones*. Retrieved from Dirección de Gestión de Calidad Ambiental: [http://www.digeca.go.cr/sites/default/files/documentos/presentacion\\_eficiencia\\_energetica\\_rac.pdf](http://www.digeca.go.cr/sites/default/files/documentos/presentacion_eficiencia_energetica_rac.pdf)

Lennox. (2016). *Installation/Operation Instructions: VRF Systems Outdoor Units*. Dallas: Lennox Industries Inc.

Marg, J. (1976). Comfort Conditioning the Plant with Evaporative Cooling. NASA.

MINAE. (2014, Agosto 26). *Directriz 011: Compra de Equipos Eficientes*. Retrieved from Dirección de Gestión de Calidad Ambiental: [http://www.digeca.go.cr/sites/default/files/directriz\\_011-minae\\_0.pdf](http://www.digeca.go.cr/sites/default/files/directriz_011-minae_0.pdf)

Monge Ruiz, O. (2017). *Refrigerantes: Tec-Digital*. Retrieved from Tec-Digital: [https://tecdigital.tec.ac.cr/dotlrn/classes/MI/MI4126/S-2-2017.CA.MI4126.1/file-storage/view/semana-xiii/ingenieria\\_refrigeracion\\_%C3%91\\_II\\_S\\_2017.pdf](https://tecdigital.tec.ac.cr/dotlrn/classes/MI/MI4126/S-2-2017.CA.MI4126.1/file-storage/view/semana-xiii/ingenieria_refrigeracion_%C3%91_II_S_2017.pdf)

Pita, E. G. (2005). *Acondicionamiento de Aire: Principios y Sistemas* (Segunda ed.). México: GRUPO EDITORIAL PATRIA.

Solano, J., & Villalobos, R. (n.d.). *Climatización de Costa Rica: Documentos*. Retrieved from Instituto Meteorológico Nacional: <https://www.imn.ac.cr/documents/10179/20909/Regionalizaci%C3%B3n+clim%C3%A1tica+de+Costa+Rica>

Wang, S. K. (2001). *Handbook of Air Conditioning and Refrigeration* (Segunda ed.). New York: McGraw-Hill.

## 10. Apéndices

### Apéndice 1. Muestra de resultados equivalentes en unidades del SI del cálculo de carga térmica

Ganancias de calor debidas a paredes exteriores en oficina de Auditoría

Ubicación Pared	RSHG (BTU/h)	RSHG (kW)
Noreste	965,8	0,28
Noroeste	232	0,07

Ganancias de calor debidas a ventana en oficina de Auditoría

Ubicación Ventana	RSHG <sub>conducción</sub> (BTU/h)	RSHG <sub>radiación</sub> (BTU/h)	RSHG <sub>conducción</sub> (kW)	RSHG <sub>radiación</sub> (kW)
Noreste	356,70	1 215,90	0,10	0,35
Noroeste	396,30	945,70	0,11	0,27

Ganancias de calor debidas a ocupantes por recinto, nivel 01

Recinto	RSHG (BTU/h)	RLHG (BTU/h)	RSHG (kW)	RLHG (kW)
Bienes Inmuebles	951,9	1 020,0	0,27	0,29
Plataforma de Servicios	1 218,2	1 275,0	0,35	0,36
Área de espera	5 162,1	5 610,0	1,47	1,60
Cajas	482,2	510,0	0,14	0,15
Tesorería	484,9	510,0	0,14	0,15
Ambiente	930,7	1 020,0	0,27	0,29
UTGV	918,9	1 020,0	0,26	0,29
Desarrollo Urbano	490,8	510,0	0,14	0,15
Proyectos	487,5	510,0	0,14	0,15
Proveeduría	1 220,2	1 275,0	0,35	0,36
Proveedor	486,5	510,0	0,14	0,15
Catastro	978,3	1 020,0	0,28	0,29

Ganancias de calor debidas a ocupantes por recinto, nivel 02

Recinto	RSHG (BTU/h)	RLHG (BTU/h)	RSHG (kW)	RLHG (kW)
Recursos Humanos	920,5	1 020,0	0,26	0,29
Informática	739,4	765,0	0,21	0,22
Telecomunicación	241,1	255,0	0,07	0,07
Oficina Asesoría Legal	942,3	1 020,0	0,27	0,29
Presupuesto	482,2	510,0	0,14	0,15
Salud Ocupacional	465,1	510,0	0,13	0,15
Sala Reunión	2 479,6	2 550,0	0,71	0,73
Contabilidad	984,5	1 020,0	0,28	0,29
Oficina de la Mujer #1	704,2	765,0	0,20	0,22
Oficina de la Mujer #2	736,3	765,0	0,21	0,22
Archivo	977,1	1 020,0	0,28	0,29
Comedor	5 939,5	6 120,0	1,69	1,74
Inspectores	975,7	1 020,0	0,28	0,29

Ganancias de calor debidas a ocupantes por recinto, niveles 03 y 04

Recinto	RSHG (BTU/h)	RLHG (BTU/h)	RSHG (kW)	RLHG (kW)
Oficina del Alcalde	1 182,4	1 275,0	0,34	0,36
Sala de Reuniones	1 967,0	2 040,0	0,56	0,58
Director Administrativo	1 648,9	1 785,0	0,47	0,51
Sala de Espera	1 446,7	1 530,0	0,41	0,44
Oficina Libre	728,5	765,0	0,21	0,22
Asesor del Alcalde	241,1	255,0	0,07	0,07
Asistente del Vice-alcalde	241,1	255,0	0,07	0,07
Oficina de Vice-alcalde	723,4	765,0	0,21	0,22
Audiovisuales	235,0	255,0	0,07	0,07
Consejo Municipal	12 437,3	14 280,0	3,54	4,07
Secretaría Consejo	486,2	510,0	0,14	0,15
Presidencia Municipal	241,1	255,0	0,07	0,07
Auditoría	244,4	255,0	0,07	0,07
Oficina Libre	733,6	765,0	0,21	0,22

Ganancias de calor debidas a infiltración en puertas, nivel 01

Recinto	RSHG (BTU/h)	RLHG (BTU/h)	RSHG (kW)	RLHG (kW)
Bienes Inmuebles	230,50	402,40	0,066	0,115
Plataforma de Servicios	230,50	402,40	0,066	0,115
Área de espera	636,70	1 111,60	0,181	0,317
Cajas	229,90	401,40	0,066	0,114
Tesorería	229,90	401,40	0,066	0,114
Ambiente	222,10	387,80	0,063	0,111
UTGV	229,90	401,40	0,066	0,114
Desarrollo Urbano	459,80	802,70	0,131	0,229
Proyectos	228,10	398,30	0,065	0,114
Proveeduría	444,20	775,50	0,127	0,221
Proveedor	229,90	401,40	0,066	0,114
Catastro	229,90	401,40	0,066	0,114

Ganancias de calor debidas a infiltración en puertas, nivel 02

<b>Recinto</b>	<b>RSHG (BTU/h)</b>	<b>RLHG (BTU/h)</b>	<b>RSHG (kW)</b>	<b>RLHG (kW)</b>
Recursos Humanos	229,90	401,40	0,066	0,114
Informática	230,50	402,40	0,066	0,115
Telecomunicación	229,90	401,40	0,066	0,114
Oficina Asesoría Legal	229,90	401,40	0,066	0,114
Presupuesto	229,90	401,40	0,066	0,114
Salud Ocupacional	229,90	401,40	0,066	0,114
Sala Reunión	229,90	401,40	0,066	0,114
Contabilidad	230,50	402,40	0,066	0,115
Oficina de la Mujer #1	241,60	421,70	0,069	0,120
Oficina de la Mujer #2	233,80	408,20	0,067	0,116
Archivo	233,80	408,20	0,067	0,116
Comedor	272,80	476,20	0,078	0,136
Inspectores	233,80	408,20	0,067	0,116

Ganancias de calor debidas a infiltración en puertas por recinto, niveles 03 y 04

<b>Recinto</b>	<b>RSHG (BTU/h)</b>	<b>RLHG (BTU/h)</b>	<b>RSHG (kW)</b>	<b>RLHG (kW)</b>
Oficina del Alcalde	233,80	408,20	0,067	0,116
Sala de Reuniones	234,00	408,60	0,067	0,116
Director Administrativo	233,80	408,20	0,067	0,116
Sala de Espera	296,10	517,00	0,084	0,147
Oficina Libre	233,80	408,20	0,067	0,116
Asesor del Alcalde	233,80	408,20	0,067	0,116
Asistente del Vice-alcalde	233,80	408,20	0,067	0,116
Oficina de Vice-alcalde	233,80	408,20	0,067	0,116
Audiovisuales	230,50	402,40	0,066	0,115
Consejo Municipal	311,70	544,20	0,089	0,155
Secretaría Consejo	233,80	408,20	0,067	0,116
Presidencia Municipal	233,80	408,20	0,067	0,116
Auditoría	233,80	408,20	0,067	0,116
Oficina Libre	233,80	408,20	0,067	0,116

Ganancias de calor debidas a la iluminación por recinto

<b>Recinto</b>	<b>RSHG (BTU/h)</b>	<b>RSHG (kW)</b>
Bienes Inmuebles	1 251,2	0,36
Plataforma de Servicios	947,5	0,27
Área de espera	2 861,6	0,82
Cajas	608,5	0,17
Tesorería	670,5	0,19
Ambiente	579,1	0,17
Unidad Técnica de Gestión Vial	866,7	0,25
Desarrollo Urbano	659,1	0,19
Proyectos	498,8	0,14
Proveeduría	1 110,2	0,32
Proveedor	399,4	0,11
Catastro	617,8	0,18
Recursos Humanos	768,1	0,22
Informática	924,4	0,26
Telecomunicación	276,3	0,08
Oficina Asesoría Legal	608,1	0,17
Presupuesto	687,6	0,20
Salud Ocupacional	376,2	0,11
Sala Reunión	819,0	0,23
Contabilidad	918,4	0,26
Oficina de la Mujer #1	511,2	0,15
Oficina de la Mujer #2	445,3	0,13
Archivo	1 148,4	0,33
Comedor	1 387,2	0,40
Inspectores	828,9	0,24
Oficina del Alcalde	833,8	0,24
Sala de Reuniones	1 068,8	0,30
Director Administrativo	706,0	0,20
Sala de Espera	1 181,9	0,34
Oficina Libre	703,9	0,20
Asesor del Alcalde	306,3	0,09
Asistente del Vice-alcalde	306,3	0,09
Oficina de Vice-alcalde	568,9	0,16
Audiovisuales	170,6	0,05
Consejo Municipal	5 024,7	1,43
Secretaría Consejo	507,4	0,14
Presidencia Municipal	333,4	0,10
Auditoría	759,6	0,22
Oficina Libre	446,3	0,13

**Apéndice 2. Muestra de resultados en unidades del SI del cálculo de carga de refrigeración**

Carga de refrigeración debida a ventilación de ocupantes y forzada, nivel 01

<b>Recinto</b>	<b>RSHG<sub>ocupantes</sub> (kW)</b>	<b>RSHG<sub>vent forzada</sub> (kW)</b>	<b>RLHG (kW)</b>
Bienes Inmuebles	0,066	0,089	0,116
Plataforma de Servicios	0,049	0,088	0,086
Área de espera	0,154	0,191	0,269
Cajas	0,032	0,026	0,056
Tesorería	0,035	0,046	0,061
Ambiente	0,031	0,055	0,055
UTGV	0,048	0,063	0,083
Desarrollo Urbano	0,034	0,056	0,059
Proyectos	0,026	0,050	0,045
Proveeduría	0,058	0,061	0,101
Proveedor	0,021	0,034	0,036
Catastro	0,032	0,050	0,056

Carga de refrigeración debida a ventilación de ocupantes y forzada, nivel 02

<b>Recinto</b>	<b>RSHG<sub>ocupantes</sub> (kW)</b>	<b>RSHG<sub>vent forzada</sub> (kW)</b>	<b>RLHG (kW)</b>
Recursos Humanos	0,042	0,098	0,074
Informática	0,047	0,068	0,083
Telecomunicación	0,015	0,044	0,025
Oficina Asesoría Legal	0,033	0,061	0,057
Presupuesto	0,036	0,035	0,063
Salud Ocupacional	0,021	0,034	0,036
Sala Reunión	0,042	0,093	0,073
Contabilidad	0,047	0,085	0,082
Oficina de la Mujer #1	0,028	0,056	0,048
Oficina de la Mujer #2	0,023	0,047	0,040
Archivo	0,060	0,078	0,104
Comedor	0,071	0,216	0,124
Inspectores	0,043	0,064	0,075

Carga de refrigeración debida a ventilación de ocupantes y forzada, niveles 03 y 04

Recinto	RSHG <sub>ocupantes</sub> (kW)	RSHG <sub>vent forzada</sub> (kW)	RLHG (kW)
Oficina del Alcalde	0,045	0,070	0,078
Sala de Reuniones	0,055	0,094	0,096
Director Administrativo	0,038	0,065	0,066
Sala de Espera	0,062	0,044	0,108
Oficina Libre	0,037	0,048	0,064
Asesor del Alcalde	0,016	0,023	0,028
Asistente del Vice-alcalde	0,016	0,023	0,028
Oficina de Vice-alcalde	0,030	0,035	0,052
Audiovisuales	0,009	0,039	0,016
Consejo Municipal	0,286	0,316	0,500
Secretaría Consejo	0,027	0,047	0,046
Presidencia Municipal	0,017	0,022	0,030
Auditoría	0,039	0,054	0,069
Oficina Libre	0,023	0,035	0,040

**Apéndice 3. Muestra de resultados en unidades del SI del cálculo manual mediante método ASHRAE**

Cargas totales de calor sensible y latente por recinto, nivel 01

Recinto	RSHG (BTU/h)	RLHG (BTU/h)	RSHG (kW)	RLHG (kW)
Bienes Inmuebles	14 304	1 830	4,20	0,54
Plataforma de Servicios	14 537	1 979	4,26	0,58
Área de espera	24 486	7 667	7,18	2,25
Cajas	4 532	1 107	1,33	0,32
Tesorería	7 367	1 126	2,16	0,33
Ambiente	8 703	1 601	2,55	0,47
UTGV	10 242	1 714	3,00	0,50
Desarrollo Urbano	8 142	1 521	2,39	0,45
Proyectos	7 468	1 067	2,19	0,31
Proveeduría	10 574	2 403	3,10	0,70
Proveedor	5 229	1 039	1,53	0,30
Catastro	7 991	1 617	2,34	0,47

Cargas totales de calor sensible y latente por recinto, nivel 02

Recinto	RSHG (BTU/h)	RLHG (BTU/h)	RSHG (kW)	RLHG (kW)
Recursos Humanos	15 301	1 680	4,49	0,49
Informática	12 987	1 458	3,81	0,43
Telecomunicación	7 380	745	2,16	0,22
Oficina Asesoría Legal	10 151	1 621	2,98	0,48
Presupuesto	5 832	1 132	1,71	0,33
Salud Ocupacional	5 871	1 037	1,72	0,30
Sala Reunión	15 453	3 207	4,53	0,94
Contabilidad	14 119	1 712	4,14	0,50
Oficina de la Mujer #1	8 867	1 355	2,60	0,40
Oficina de la Mujer #2	7 110	1 314	2,09	0,39
Archivo	15 575	1 792	4,57	0,53
Comedor	32 601	7 031	9,56	2,06
Inspectores	10 578	1 692	3,10	0,50

Cargas totales de calor sensible y latente por recinto, niveles 03 y 04

Recinto	RSHG (BTU/h)	RLHG (BTU/h)	RSHG (kW)	RLHG (kW)
Oficina del Alcalde	10 741	1 956	3,15	0,57
Sala de Reuniones	15 380	2 785	4,51	0,82
Director Administrativo	10 026	2 425	2,94	0,71
Sala de Espera	7 956	2 427	2,33	0,71
Oficina Libre	8 264	1 398	2,42	0,41
Asesor del Alcalde	4 367	762	1,28	0,22
Asistente del Vice-alcalde	4 367	762	1,28	0,22
Oficina de Vice-alcalde	5 917	1 356	1,74	0,40
Audiovisuales	6 176	714	1,81	0,21
Consejo Municipal	46 848	16 578	13,74	4,86
Secretaría Consejo	6 978	1 080	2,05	0,32
Presidencia Municipal	3 526	770	1,03	0,23
Auditoría	7 873	904	2,31	0,27
Oficina Libre	5 285	1 315	1,55	0,39

Cargas de refrigeración totales por recinto, nivel 01

Recinto	GTHG (BTU/h)	GTHG (kW)
Bienes Inmuebles	16 134	4,73
Plataforma de Servicios	16 516	4,84
Área de espera	32 153	9,43
Cajas	5 639	1,65
Tesorería	8 493	2,49
Ambiente	10 304	3,02
UTGV	11 956	3,51
Desarrollo Urbano	9 663	2,83
Proyectos	8 535	2,50
Proveeduría	12 977	3,81
Proveedor	6 268	1,84
Catastro	9 608	2,82

Cargas de refrigeración totales por recinto, nivel 02

<b>Recinto</b>	<b>GTHG (BTU/h)</b>	<b>GTHG (kW)</b>
Recursos Humanos	16 981	4,98
Informática	14 445	4,24
Telecomunicación	8 125	2,38
Oficina Asesoría Legal	11 772	3,45
Presupuesto	6 965	2,04
Salud Ocupacional	6 908	2,03
Sala Reunión	18 661	5,47
Contabilidad	15 831	4,64
Oficina de la Mujer #1	10 222	3,00
Oficina de la Mujer #2	8 424	2,47
Archivo	17 368	5,09
Comedor	39 631	11,63
Inspectores	12 270	3,60

Cargas de refrigeración totales por recinto, niveles 03 y 04

<b>Recinto</b>	<b>GTHG (BTU/h)</b>	<b>GTHG (BTU/h)</b>
Oficina del Alcalde	12 698	3,72
Sala de Reuniones	18 165	5,33
Director Administrativo	12 451	3,65
Sala de Espera	10 383	3,05
Oficina Libre	9 662	2,83
Asesor del Alcalde	5 129	1,50
Asistente del Vice-alcalde	5 129	1,50
Oficina de Vice-alcalde	7 273	2,13
Audiovisuales	6 890	2,02
Consejo Municipal	63 425	18,60
Secretaría Consejo	8 058	2,36
Presidencia Municipal	4 296	1,26
Auditoría	8 777	2,57
Oficina Libre	6 600	1,94
<b>Carga Total</b>	<b>514 781</b>	<b>151,00</b>

#### Apéndice 4. Muestra de resultados del cálculo de carga térmica en HAP

Se muestra a modo de ejemplo, la tabla de un recinto por piso.

<b>DESIGN COOLING - AMBIENTE</b>			
<b>COOLING DATA AT Nov 1600</b>			
<b>COOLING OA DB / WB 85.5 °F / 74.9 °F</b>			
<b>ZONE LOADS</b>	<b>Details</b>	<b>Sensible (BTU/hr)</b>	<b>Latent (BTU/hr)</b>
Window & Skylight Solar Loads	30 ft <sup>2</sup>	3120	-
Wall Transmission	52 ft <sup>2</sup>	227	-
Window Transmission	30 ft <sup>2</sup>	242	-
Partitions	313 ft <sup>2</sup>	0	-
Ceiling	0 ft <sup>2</sup>	0	-
Overhead Lighting	155 W	436	-
Task Lighting	0 W	0	-
Electric Equipment	379 W	1192	-
People	4	766	820
Infiltration	-	212	642
<b>&gt;&gt; Total Zone Loads</b>	<b>-</b>	<b>6196</b>	<b>1462</b>
Zone Conditioning	-	6189	1462
Return Fan Load	337 CFM	0	-
Ventilation Load	9 CFM	91	319
Supply Fan Load	337 CFM	2162	-
<b>&gt;&gt; Total System Loads</b>	<b>-</b>	<b>8442</b>	<b>1781</b>

Fuente: (Carrier Corporation, 2013)

<b>DESIGN COOLING - INFORMATICA</b>			
<b>COOLING DATA AT Nov 1200</b>			
<b>COOLING OA DB / WB 82.0 °F / 73.9 °F</b>			
<b>ZONE LOADS</b>	<b>Details</b>	<b>Sensible (BTU/hr)</b>	<b>Latent (BTU/hr)</b>
Window & Skylight Solar Loads	38 ft <sup>2</sup>	3074	-
Wall Transmission	23 ft <sup>2</sup>	101	-
Roof Transmission	234 ft <sup>2</sup>	1739	-
Window Transmission	38 ft <sup>2</sup>	179	-
Partitions	488 ft <sup>2</sup>	0	-
Ceiling	0 ft <sup>2</sup>	0	-
Overhead Lighting	222 W	757	-
Task Lighting	0 W	0	-
Electric Equipment	486 W	1490	-
People	3	525	615
Infiltration	-	146	716
<b>&gt;&gt; Total Zone Loads</b>	<b>-</b>	<b>8011</b>	<b>1331</b>
Zone Conditioning	-	8388	1331
Return Fan Load	439 CFM	0	-
Ventilation Load	14 CFM	86	517
Supply Fan Load	439 CFM	2812	-
<b>&gt;&gt; Total System Loads</b>	<b>-</b>	<b>11286</b>	<b>1848</b>

Fuente: (Carrier Corporation, 2013)

<b>DESIGN COOLING – ASIST VICE ALCALDE</b>			
<b>COOLING DATA AT Jul 1400</b>			
<b>COOLING OA DB / WB 92.5 °F / 77.9 °F</b>			
<b>ZONE LOADS</b>	<b>Details</b>	<b>Sensible (BTU/hr)</b>	<b>Latent (BTU/hr)</b>
Window & Skylight Solar Loads	0 ft <sup>2</sup>	0	-
Wall Transmission	69 ft <sup>2</sup>	388	-
Roof Transmission	79 ft <sup>2</sup>	700	-
Partitions	236 ft <sup>2</sup>	0	-
Ceiling	0 ft <sup>2</sup>	0	-
Overhead Lighting	79 W	216	-
Task Lighting	0 W	0	-
Electric Equipment	198 W	615	-
People	1	184	205
Infiltration	-	371	734
<b>&gt;&gt; Total Zone Loads</b>	<b>-</b>	<b>2474</b>	<b>939</b>
Zone Conditioning	-	2518	939
Return Fan Load	135 CFM	0	-
Ventilation Load	5 CFM	83	177
Supply Fan Load	135 CFM	863	-
<b>&gt;&gt; Total System Loads</b>	<b>-</b>	<b>3464</b>	<b>1116</b>

Fuente: (Carrier Corporation, 2013)

<b>DESIGN COOLING - AUDITORIA</b>			
<b>COOLING DATA AT Jul 1600</b>			
<b>COOLING OA DB / WB 92.5 °F / 77.9 °F</b>			
<b>ZONE LOADS</b>	<b>Details</b>	<b>Sensible (BTU/hr)</b>	<b>Latent (BTU/hr)</b>
Window & Skylight Solar Loads	42 ft <sup>2</sup>	3055	-
Wall Transmission	145 ft <sup>2</sup>	958	-
Window Transmission	42 ft <sup>2</sup>	645	-
Partitions	244 ft <sup>2</sup>	0	-
Ceiling	0 ft <sup>2</sup>	0	-
Overhead Lighting	184 W	628	-
Task Lighting	0 W	0	-
Electric Equipment	198 W	623	-
People	1	192	205
Infiltration	-	366	659
<b>&gt;&gt; Total Zone Loads</b>	<b>-</b>	<b>6466</b>	<b>864</b>
Zone Conditioning	-	6623	864
Return Fan Load	355 CFM	0	-
Ventilation Load	12 CFM	204	395
Supply Fan Load	355 CFM	379	-
<b>&gt;&gt; Total System Loads</b>	<b>-</b>	<b>7206</b>	<b>1259</b>

Fuente: (Carrier Corporation, 2013)

**Apéndice 5. Muestra de resultados en unidades del SI del cálculo mediante software HAP**

Cargas de refrigeración totales por recinto mediante HAP

<b>Recinto</b>	<b>GSHG (kW)</b>	<b>GLHG (kW)</b>	<b>GTHG (kW)</b>	<b>GTHG (BTU/h)</b>
Bienes Inmuebles	3,96	0,65	4,62	16 774
Plataforma de Servicios	4,02	0,79	4,80	17 232
Área de espera	7,57	2,34	9,92	34 828
Cajas	1,39	0,23	1,62	5 835
Tesorería	2,09	0,46	2,55	9 724
Ambiente	2,41	0,51	2,91	10 772
Unidad Técnica de Gestión Vial	2,99	0,57	3,57	13 076
Desarrollo Urbano	2,46	0,61	3,07	10 309
Proyectos	1,93	0,56	2,50	8 434
Proveeduría	2,94	0,49	3,42	12 376
Proveedor	1,45	0,35	1,80	6 380
Catastro	2,51	0,49	3,00	10 872
Recursos Humanos	3,87	0,37	4,24	15 610
Informática	3,22	0,53	3,74	14 343
Telecomunicación	1,79	0,32	2,12	8 298
Oficina Asesoría Legal	2,73	0,53	3,26	12 000
Presupuesto	1,71	0,42	2,13	7 404
Salud Ocupacional	1,68	0,35	2,02	7 472
Sala Reunión	4,36	0,89	5,25	19 533
Contabilidad	3,68	0,59	4,27	15 691
Oficina de la Mujer #1	2,52	0,35	2,87	10 652
Oficina de la Mujer #2	1,93	0,39	2,32	8 072
Archivo	3,46	0,62	4,08	16 461
Comedor	8,90	1,82	10,71	39 273
Inspectores	2,99	0,54	3,53	13 303
Oficina del Alcalde	2,92	0,57	3,49	12 277
Sala de Reuniones	4,34	0,76	5,10	17 905
Director Administrativo	2,96	0,74	3,70	12 931
Sala de Espera	2,02	0,80	2,82	10 285
Oficina Libre	2,19	0,48	2,66	9 561
Asesor del Alcalde	0,99	0,32	1,31	5 262
Asistente del Vice-alcalde	0,99	0,32	1,31	5 262
Oficina de Vice-alcalde	1,46	0,47	1,93	7 570
Audiovisuales	1,52	0,28	1,80	6 433
Consejo Municipal	14,47	4,38	18,85	63 101
Secretaría Consejo	2,04	0,39	2,43	8 283
Presidencia Municipal	0,94	0,33	1,27	4 804
Auditoría	2,05	0,36	2,41	8 176
Oficina Libre	1,72	0,41	2,13	7 394

**Apéndice 6. Tabla resumen de numerales/estándares de normativa ASHRAE consultados**

<b>Estándar/Numeral</b>	<b>Descripción/Título</b>
55	Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy
62.1	Ventilación para una calidad aceptable de aire interior
90.1	Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings
Handbook	Fundamentals
Handbook	Refrigeration
HVAC Handbook	Fundamentals

**Apéndice 7. Cronograma proyectado del desarrollo del proyecto**

No.	Actividad	23/7-28/7	29/7-4/8	5/8-11/8	12/8-18/8	19/8-25/8	26/8-1/9	2/9-8/9	9/9-15/9	16/9-22/9	23/9-29/9	30/9-6/10	7/10-13/10	14/10-20/10	21/10-27/10	28/10-3/11	4/11-10/11
		Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8	Semana 9	Semana 10	Semana 11	Semana 12	Semana 13	Semana 14	Semana 15	Semana 16
1	Investigación sobre normas, leyes y reglamentos	■															
2	Recolección de datos del proyecto		■														
3	Cálculo de carga térmica		■	■	■												
4	Comparación de sistemas de aire acondicionado					■	■	■									
5	Selección de tuberías, ductos y equipos							■									
6	Estudio de ubicación de equipos y distribución de tuberías y ductos								■								
7	Diseño de planos mecánicos									■	■	■					
8	Elaboración del cronograma de mantenimiento											■	■				
9	Revisión del profesor guía												■				
10	Elaboración del primer borrador del trabajo escrito													■			
11	Fin del proceso del proyecto de graduación														■		
12	Elaboración del escrito final														■		
13	Revisión por el filósofo															■	

## 11. Anexos

### Anexo 1. Coeficiente de transferencia de calor en paredes y grupos de construcción

1. TABLA 6.3. DESCRIPCIÓN DE GRUPOS DE CONSTRUCCIÓN DE PAREDES

Grupo No.	Descripción de la construcción	Peso, lb/ft <sup>2</sup>	Valor de U, BTU/(h-ft <sup>2</sup> -F)
<b>Ladrillo de vista de 4 in + (Ladrillo)</b>			
C	Espacio de aire + ladrillo de vista de 3 in	83	0.358
D	Ladrillo común de 4 in	90	0.415
C	Aislamiento de 1 in o espacio de aire + ladrillo común de 4 in	90	0.174-0.301
B	Aislamiento de 2 in + ladrillo común de 4 in	88	0.111
B	Ladrillo común de 8 in	130	0.302
A	Aislamiento o espacio de aire + ladrillo común de 8 in	130	0.154-0.243
<b>Ladrillo de vista de 4 in + (Concreto pesado)</b>			
C	Espacio de aire + concreto de 2 in	94	0.350
B	Aislamiento de 2 in + concreto de 4 in	97	0.116
A	Espacio de aire o aislamiento + concreto de 8 in o más	143-190	0.110-0.112
<b>Ladrillo de vista de 4 in + (bloque de concreto ligero o pesado)</b>			
E	Bloque de 4 in	62	0.319
D	Espacio de aire o aislamiento + bloque de 4 in	62	0.153-0.246
D	Bloque de 8 in	70	0.274
C	Espacio de aire o aislamiento de 1 in + bloque de 6 u 8 in	73-89	0.221-0.275
B	Aislamiento de 2 in + bloque de 8 in	89	0.096-0.107
<b>Ladrillo de vista de 4 in + (azulejo de barro)</b>			
D	Azulejo de 4 in	71	0.381
D	Espacio de aire + azulejo de 4 in	71	0.281
C	Aislamiento + azulejo de 4 in	71	0.169
C	Azulejo de 8 in	96	0.275
B	Espacio de aire o aislamiento de 1 in + azulejo de 8 in	96	0.142-0.221
A	Aislamiento de 2 in + azulejo de 8 in	97	0.097
<b>Pared de concreto pesado + (acabado)</b>			
E	Concreto de 4 in	63	0.585
D	Concreto de 4 in + aislamiento de 1 o 2 in	63	0.119-0.200
C	Aislamiento de 2 in + concreto de 4 in	63	0.119
C	Concreto de 8 in	109	0.490
B	concreto de 8 in + aislamiento de 1 o 2 in	110	0.115-0.187
A	Aislamiento de 2 in + concreto de 8 in	110	0.115
E	Concreto de 12 in	156	0.421
A	Concreto de 12 in + aislamiento	156	0.113

Fuente: (Pita, 2005)

## Anexo 2. Diferencia de temperatura para carga de enfriamiento

**TABLA 6.2** DIFERENCIAS DE TEMPERATURA PARA CARGA DE ENFRIAMIENTO (DTCE) PARA CÁLCULO DE CARGA DE PAREDES AL SOL, 1°F

Latitud norte, orientación de pared	Hora solar, h																								Hora de la DTCE máxima	DTCE mínima	DTCE máxima	Diferencia de DTCE	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24					
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	18	17	17	16	15	15	15	15	15	16	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	18	19	20	22	23	24	25	25	25	24	17	25	8	
W	27	27	26	26	25	24	24	23	22	21	20	19	19	18	18	18	19	20	22	23	25	26	26	26	1	18	27	9	
NW	21	21	21	20	20	19	19	18	17	16	16	15	15	14	14	14	15	16	17	18	19	20	21	21	1	14	21	7	
Paredes grupo B																													
N	15	14	14	13	12	11	11	10	9	9	9	8	8	8	9	10	11	12	13	14	14	15	15	15	24	8	15	7	
NE	19	18	17	16	15	14	13	12	13	14	15	16	17	18	19	20	20	21	21	21	21	20	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	25	24	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	13	15	17	19	21	22	23	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	18	17	16	15	14	13	11	10	10	11	13	15	17	19	21	21	22	22	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	30	30	30	29	28	27	26	24	24	18	12	30	18	
SE	22	21	19	17	15	14	12	12	12	13	16	19	22	25	27	29	30	30	29	28	27	26	24	24	19	12	29	17	
S	21	19	18	16	15	13	12	10	9	9	9	10	11	11	12	14	15	17	19	20	21	22	22	21	20	9	26	17	
SW	29	27	25	22	20	18	16	15	13	12	11	11	11	11	12	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	12	13	14	16	20	24	29	32	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	6	7	8	10	12	13	15	17	18	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	16	14	13	11	9	8	9	12	17	22	27	30	32	33	33	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	27	26	24	22	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	37	34	31	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	16	22	27	31	32	32	30	27	22	7	32	25	

Fuente: (Pita, 2005)

## Anexo 3. Corrección de DTCE por latitud y mes

**TABLA 6.4.** CORRECCIÓN DE LA DTCE POR LATITUD Y MES, PARA APLICAR A PAREDES Y TECHOS, LATITUDES NORTE, °F

Latitud	Mes	NNE										S	HORA
		N	NNW	NW	WNW	W	WSW	SW	SSW	SSW	SSW		
0	Dic	-3	-5	-5	-5	-2	-0	3	6	9	-1	-1	
	Ene/Nov	-3	-5	-4	-4	-1	-0	2	4	7	-1	-1	
	Feb/Oct	-3	-2	-2	-2	-1	-1	0	-1	0	0	0	
	Mar/Sept	-3	0	1	-1	-1	-3	-3	-5	-8	-1	-1	
	Abr/Ago	5	4	3	0	-2	-5	-6	-8	-8	-2	-2	
	May/Jul	10	7	5	0	-3	-7	-8	-9	-8	-4	-4	
8	Jun	12	9	5	0	-3	-7	-9	-10	-8	-5	-5	
	Dic	-4	-6	-6	-6	-3	0	4	8	12	-5	-5	
	Ene/Nov	-3	-5	-6	-5	-2	0	3	6	10	-4	-4	
	Feb/Oct	-3	-4	-3	-3	-1	-1	1	2	4	-1	-1	
	Mar/Sept	-3	-2	-1	-1	-1	-2	-2	-3	-4	0	0	
	Abr/Ago	2	2	2	0	-1	-4	-5	-7	-7	-1	-1	
16	May/Jul	7	5	4	0	-2	-5	-7	-9	-7	-2	-2	
	Jun	9	6	4	0	-2	-6	-8	-9	-7	-2	-2	
	Dic	-4	-6	-8	-8	-4	-1	4	9	13	-9	-9	
	Ene/Nov	-4	-6	-7	-7	-4	-1	4	8	12	-7	-7	
	Feb/Oct	-3	-5	-5	-4	-2	0	2	5	7	-4	-4	
	Mar/Sept	-3	-3	-2	-2	-1	-1	0	0	0	-1	-1	
16	Abr/Ago	-1	0	-1	-1	-1	-3	-3	-5	-6	0	0	
	May/Jul	4	3	3	0	-1	-4	-5	-7	-7	0	0	
	Jun	6	4	4	1	-1	-4	-6	-8	-7	0	0	

Fuente: (Pita, 2005)

#### Anexo 4. Factor de ganancia máxima para vidrios (FGCS)

**TABLA 6.6 RADIACIÓN SOLAR A TRAVÉS DE VIDRIO FACTORES DE GANANCIA MÁXIMA DE CALOR SOLAR PARA VIDRIO. BTU/H - FT<sup>2</sup>, LATITUDES NORTE.**

0 Grados											16 Grados										
	NNE/ N	NE/ NNW	ENE/ NW	E/ WNW	ESE/ W	SE/ WSW	SEE/ SW	SSW	S	HOR		NNE/ N	NE/ NNW	ENE/ NW	E/ WNW	ESE/ W	SE/ WSW	SEE/ SW	SSW	S	HOR
En.	34	34	88	177	234	254	235	182	118	296	En.	30	30	55	147	21	244	251	223	199	248
Feb.	36	39	132	205	245	247	210	141	67	306	Feb.	33	33	96	180	231	247	233	188	154	275
Mar.	38	87	170	223	242	223	170	87	38	303	Mar.	35	53	140	205	239	235	197	138	93	291
Abr.	71	134	193	224	221	184	118	38	37	284	Abr.	39	99	172	216	227	204	150	77	45	289
May	113	164	203	218	201	154	80	37	37	265	May	52	132	189	218	215	179	115	45	41	282
Jun.	129	173	206	212	191	140	66	37	37	255	Jun.	66	142	194	217	207	167	99	41	41	277
Jul.	115	164	201	213	195	149	77	38	38	260	Jul.	55	132	187	214	210	174	111	44	42	277
Agos.	75	134	187	216	212	175	112	39	38	276	Agos.	41	100	168	209	219	196	143	74	46	282
Sept.	40	84	163	213	231	213	163	84	40	293	Sept.	36	50	134	196	227	224	191	134	93	282
Oct.	37	40	129	199	236	238	202	135	66	299	Oct.	33	33	95	174	223	237	225	183	150	270
Nov.	35	35	88	175	230	250	230	179	117	293	Nov.	30	30	55	145	206	241	247	220	196	246
Dic.	34	34	71	164	226	253	240	196	138	288	Dic.	29	29	41	132	198	241	254	233	212	234

8 Grados											24 Grados										
	NNE/ N	NE/ NNW	ENE/ NW	E/ WNW	ESE/ W	SE/ WSW	SEE/ SW	SSW	S	HOR		NNE/ N	NE/ NNW	ENE/ NW	E/ WNW	ESE/ W	SE/ WSW	SEE/ SW	SSW	S	HOR
En.	32	32	71	163	224	250	242	203	162	275	En.	27	27	41	128	190	240	253	241	227	214
Feb.	34	34	114	193	239	248	219	165	110	294	Feb.	30	30	80	165	220	244	243	213	192	249
Mar.	37	67	156	215	241	230	184	110	55	300	Mar.	34	45	124	195	234	237	214	168	137	275
Abr.	44	117	184	221	225	195	134	53	39	289	Abr.	37	88	159	209	228	212	169	107	75	283
May	74	146	198	220	209	167	97	39	38	277	May	43	117	178	214	218	190	132	67	46	282
Jun.	90	155	200	217	200	141	82	39	39	269	Jun.	55	127	184	214	212	179	117	55	43	279
Jul.	77	145	195	215	204	162	93	40	39	272	Jul.	45	116	176	210	213	185	129	65	46	278
Agos.	47	117	179	214	216	186	128	51	41	282	Agos.	38	87	156	203	220	204	162	103	72	277
Sept.	38	66	149	205	230	219	176	107	56	290	Sept.	35	42	119	185	222	225	206	163	134	266

Fuente: (Pita, 2005)

#### Anexo 5. Diferencia de conducción de carga de enfriamiento en vidrios

**TABLA 6.5 DIFERENCIAS DE CONDUCCIÓN DE CARGA DE ENFRIAMIENTO A TRAVÉS DE UN VIDRIO**

Hora	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
CLTD,F	0	-2	-2	0	4	9	13	14	12	8	4	2

Fuente: (Pita, 2005)

#### Anexo 6. Tasas máximas de infiltración

**TABLA 3.3. 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, 2005)

## Anexo 7. Coeficientes de sombreado en vidrio (CS)

**TABLA 6.7. COEFICIENTES DE SOMBRADO PARA VIDRIO CON O SIN SOMBRADO INTERIOR POR PERSIANAS VENECIANAS ENROLLABLES**

Tipo de vidrio	Espesor nominal de cada vidrio claro <sup>a</sup>	Transmisión solar <sup>b</sup>	Sin sombreado interior $k_o = 4.0$	Tipo de sombreado interior						
				Persianas venecianas		Persianas enrollables				
				Medio	Claro	Opacas	Traslúcidas	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 <sup>c</sup>	1/8		0.83						
	Absorbente de calor <sup>c</sup>	3/16 a 1/4	0.46	0.69	0.57	0.53	0.45	0.30	0.36	
	Absorbente de calor, con figuras	3/16 a 1/4		0.69						
	Colorado	1/8 a 7/32	0.59-0.45	0.69	0.54	0.52	0.40	0.28	0.32	
Absorbente de calor, o con figuras		0.44-0.30	0.60							
Absorbente de calor <sup>c</sup>	3/8	0.34	0.60	0.42	0.40	0.36	0.28	0.31		
Absorbente de calor, o con figuras	1/2	0.44-0.30	0.53							
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 <sup>d</sup>									
	Claro afuera	3/32, 1/8	0.71 <sup>e</sup>	0.88	0.57	0.51	0.60	0.25	0.37	
	Claro adentro									
	Claro afuera	1/4	0.61 <sup>e</sup>	0.81						
	Claro adentro									
	Absorbente de calor afuera	1/4	0.36 <sup>e</sup>	0.55						
	Claro adentro				0.39	0.36	0.40	0.22	0.30	
Vidrio recubierto reflector				0.19	0.18					
				0.20	0.18					
				0.30	0.26					
				0.40	0.33					
Triple										
Claro	1/4		0.71							
Claro	1/8		0.80							

Fuente: (Pita, 2005)

## Anexo 8. Ganancias de calor sensible y latente debidas a ocupantes

**TABLA 6.11. TASAS DE GANANCIA DE CALOR DEBIDA A LOS OCUPANTES DEL RECINTO ACONDICIONADO<sup>a</sup>**

Actividad	Aplicaciones típicas	Calor total por adulto masculino						Calor sensible			Calor latente		
		calor total ajustado <sup>b</sup>			calor total ajustado <sup>b</sup>			Watts	Btuh	kcal/h	Watts	Btuh	kcal/h
		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 <sup>c</sup>	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

Fuente: (Pita, 2005)

## Anexo 9. Tasas mínimas de ventilación en zonas de respiración

**TABLA 6-1 RATAS MINIMAS DE VENTILACION EN ZONAS DE RESPIRACION (Continuación)**  
(Esta tabla no es válida aisladamente; debe ser usada en conjunto con las notas que la acompañan.)

Categoría de ocupación	Rata de aire exterior para personas $R_p$		Rata de aire exterior del área $R_a$		Notas	Valores por defecto			Clase de aire
	cfm/persona	L/s·persona	cfm/pie <sup>2</sup>	L/s·m <sup>2</sup>		Densidad de ocupación (Ver Nota 4)	Rata combinada de aire exterior (Ver Nota 5)		
						#/1000 ft <sup>2</sup> or #/100 m <sup>2</sup>	cfm/persona	L/s·persona	
<b>Edificios de oficinas</b>									
Espacios de oficinas	5	2.5	0.06	0.3		5	17	8.5	1
Áreas de recepción	5	2.5	0.06	0.3		30	7	3.5	1
Teléfonos/datos de entrada	5	2.5	0.06	0.3		60	6	3.0	1
Vestíbulos de entrada principal	5	2.5	0.06	0.3		10	11	5.5	1
<b>Espacios diversos</b>									
Cajas de bancos / cajas de depósitos	5	2.5	0.06	0.3		5	17	8.5	2
Computador (sin impresión)	5	2.5	0.06	0.3		4	20	10.0	1
Cuartos de equipo eléctrico	—	—	0.06	0.3	B	—	—	—	1
Cuartos de ascensores mecánicos	—	—	0.12	0.6	B	—	—	—	1
Droguería (área de preparación)	5	2.5	0.18	0.9		10	23	11.5	2
Estudios fotográficos	5	2.5	0.12	0.6		10	17	8.5	1
Despacho/Recepción	—	—	0.12	0.6	B	—	—	—	1
Cabina de teléfonos	—	—	0.00	0.0		—	—	—	1
Espera de transporte	7.5	3.8	0.06	0.3		100	8	4.1	1
Bodegas	—	—	0.06	0.3	B	—	—	—	2

Fuente: (ASHRAE, 2010)

## Anexo 10. Velocidades recomendadas en ductos

**TABLA 8.11. VELOCIDADES SUGERIDAS EN SISTEMAS DE ACONDICIONAMIENTO DE AIRE CON BAJA VELOCIDAD**

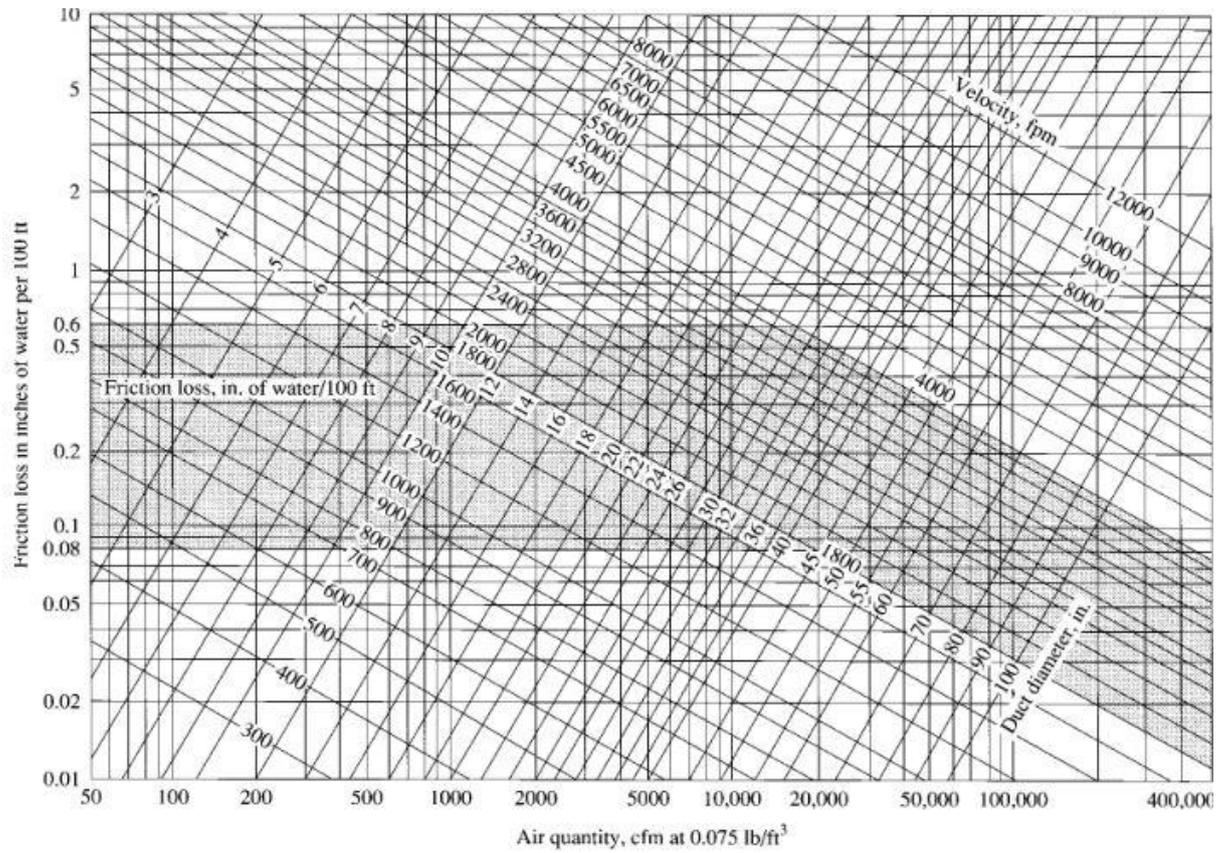
Componente	Velocidades recomendadas, ft/min			Velocidades máximas, ft/min		
	Residencias	Escuelas, teatros, edificios públicos	Construcciones industriales	Residencias	Escuelas, teatros, edificios públicos	Construcciones industriales
Entradas de aire exterior <sup>a</sup>	500	500	500	800	900	1200
Filtros <sup>a</sup>	250	300	350	300	350	350
Serpentines de calentamiento <sup>a</sup>	450	500	600	500	600	700
Lavadores de aire	500	500	500	500	500	500
Conexiones de succión	700	800	1000	900	1000	1400
Descargas de ventilador	1000–1600	1300–2000	1600–2400	1700	1500–2200	1700–2800
Ductos principales	700–900	1000–1300	1200–1800	800–1200	1100–1600	1300–2200
Ductos de ramal	600	600–900	800–1000	700–1000	800–1300	1000–1800
Subidas de ramal	500	600–700	800	650–800	800–1200	1000–1600

<sup>a</sup> Estas velocidades son para toda la superficie de la cara, y no la superficie libre. Las demás velocidades son para superficie libre neta.

Reproducido con permiso del "1967 Systems And Equipment ASHRAE Handbook & Product Directory"

Fuente: (Pita, 2005)

**Anexo 11. Nomograma de pérdida de fricción en ductos de aire**



Fuente: (Wang, 2001)

## Anexo 12. Diámetros circulares equivalentes de ductos rectangulares para igual fricción y capacidad

One side, rectan- gular duct, in.	Adjacent side, in.																			
	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	22	24	26	28	30
6	6.6																			
7	7.1	7.7																		
8	7.6	8.2	8.7																	
9	8.0	8.7	9.3	9.8																
10	8.4	9.1	9.8	10.4	10.9															
11	8.8	9.5	10.2	10.9	11.5	12.0														
12	9.1	9.9	10.7	11.3	12.0	12.6	13.1													
13	9.5	10.3	11.1	11.8	12.4	13.1	13.7	14.2												
14	9.8	10.7	11.5	12.2	12.9	13.5	14.2	14.7	15.3											
15	10.1	11.0	11.8	12.6	13.3	14.0	14.6	15.3	15.8	16.4										
16	10.4	11.3	12.2	13.0	13.7	14.4	15.1	15.7	16.4	16.9	17.5									
17	10.7	11.6	12.5	13.4	14.1	14.9	15.6	16.2	16.8	17.4	18.0	18.6								
18	11.0	11.9	12.9	13.7	14.5	15.3	16.0	16.7	17.3	17.9	18.5	19.1	19.7							
19	11.2	12.2	13.2	14.1	14.9	15.7	16.4	17.1	17.8	18.4	19.0	19.6	20.2	20.8						
20	11.5	12.5	13.5	14.4	15.2	16.0	16.8	17.5	18.2	18.9	19.5	20.1	20.7	21.3	21.9					
22	12.0	13.0	14.1	15.0	15.9	16.8	17.6	18.3	19.1	19.8	20.4	21.1	21.7	22.3	22.9	24.0				
24	12.4	13.5	14.6	15.6	16.5	17.4	18.3	19.1	19.9	20.6	21.3	22.0	22.7	23.3	23.9	25.1	26.2			
26	12.8	14.0	15.1	16.2	17.1	18.1	19.0	19.8	20.6	21.4	22.1	22.9	23.5	24.2	24.9	26.1	27.3	28.4		
28	13.2	14.5	15.6	16.7	17.7	18.7	19.6	20.5	21.3	22.1	22.9	23.7	24.4	25.1	25.8	27.1	28.3	29.5	30.6	
30	13.6	14.9	16.1	17.2	18.3	19.3	20.2	21.1	22.0	22.9	23.7	24.4	25.2	25.9	26.6	28.0	29.3	30.5	31.7	32.8
32	14.0	15.3	16.5	17.7	18.8	19.8	20.8	21.8	22.7	23.5	24.4	25.2	26.0	26.7	27.5	28.9	30.2	31.5	32.7	33.9
34	14.4	15.7	17.0	18.2	19.3	20.4	21.4	22.4	23.3	24.2	25.1	25.9	26.7	27.5	28.3	29.7	31.0	32.4	33.7	34.9
36	14.7	16.1	17.4	18.6	19.8	20.9	21.9	22.9	23.9	24.8	25.7	26.6	27.4	28.2	29.0	30.5	32.0	33.3	34.6	35.9
38	15.0	16.5	17.8	19.0	20.2	21.4	22.4	23.5	24.5	25.4	26.4	27.2	28.1	28.9	29.8	31.3	32.8	34.2	35.6	36.8

Fuente: (Wang, 2001)

## Anexo 13. Ganancia de calor en equipos: computadoras

**Table 8 Recommended Heat Gain from Typical Computer Equipment**

	Continuous, W	Energy Saver Mode, W
<b>Computers<sup>a</sup></b>		
Average value	55	20
Conservative value	65	25
Highly conservative value	75	30
<b>Monitors<sup>b</sup></b>		
Small monitor (330 to 380 mm)	55	0
Medium monitor (400 to 460 mm)	70	0
Large monitor (480 to 510 mm)	80	0

Sources: Hosni et al. (1999), Wilkins and McGaffin (1994).

<sup>a</sup>Based on 386, 486, and Pentium grade.

<sup>b</sup>Typical values for monitors displaying Windows environment.

Fuente: (ASHRAE, 2001)

## Anexo 14. Ganancia de calor en equipos: impresoras

**Table 9 Recommended Heat Gain from Typical Laser Printers and Copiers**

	Continuous, W	1 page per min., W	Idle, W
<b>Laser Printers</b>			
Small desktop	130	75	10
Desktop	215	100	35
Small office	320	160	70
Large office	550	275	125
<b>Copiers</b>			
Desktop copier	400	85	20
Office copier	1,100	400	300

Source: Hosni et al. (1999).

Fuente: (ASHRAE, 2001)

## Anexo 15. Ganancia de calor en equipos: comedores

**Table 10 Recommended Heat Gain from Miscellaneous Office Equipment**

Appliance	Maximum Input Rating, W	Recommended Rate of Heat Gain, W
<b>Mail-processing equipment</b>		
Folding machine	125	80
Inserting machine, 3,600 to 6,800 pieces/h	600 to 3300	390 to 2150
Labeling machine, 1,500 to 30,000 pieces/h	600 to 6600	390 to 4300
Postage meter	230	150
<b>Vending machines</b>		
Cigarette	72	72
Cold food/beverage	1150 to 1920	575 to 960
Hot beverage	1725	862
Snack	240 to 275	240 to 275
<b>Other</b>		
Bar code printer	440	370
Cash registers	60	48
Check processing workstation, 12 pockets	4800	2470
Coffee maker, 10 cups	1500	1050 sens., 450 latent
Microfiche reader	85	85
Microfilm reader	520	520
Microfilm reader/printer	1150	1150
Microwave oven, 28 L	600	400

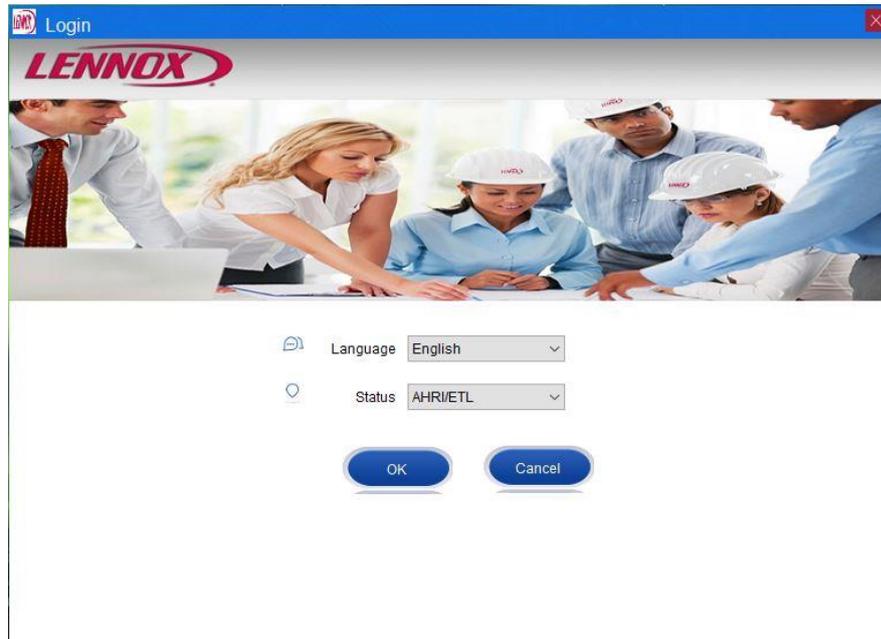
Fuente: (ASHRAE, 2001)

## Anexo 16. Ganancia de calor por iluminación

<b>Building Area Type<sup>a</sup></b>	<b>LPD (W/R<sup>2</sup>)</b>
Automotive facility	0.9
Convention center	1.2
Courthouse	1.2
Dining: bar lounge/leisure	1.3
Dining: cafeteria/fast food	1.4
Dining: family	1.6
Dormitory	1.0
Exercise center	1.0
Gymnasium	1.1
Health-care clinic	1.0
Hospital	1.2
Hotel	1.0
Library	1.3
Manufacturing facility	1.3
Motel	1.0
Motion picture theater	1.2
Multifamily	0.7
Museum	1.1
Office	1.0
Parking garage	0.3
Penitentiary	1.0
Performing arts theater	1.6
Police/fire station	1.0

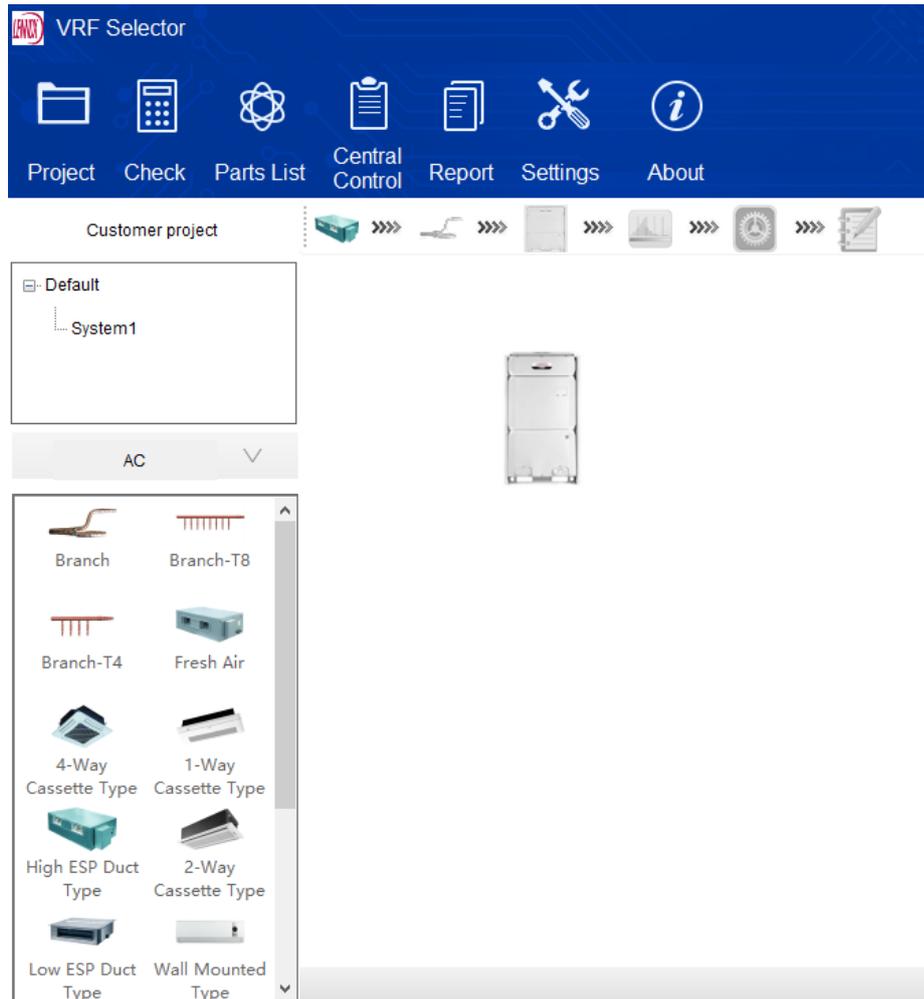
Fuente: (ASHRAE, 2001)

## Anexo 17. Pantalla de inicio del VRF Selector



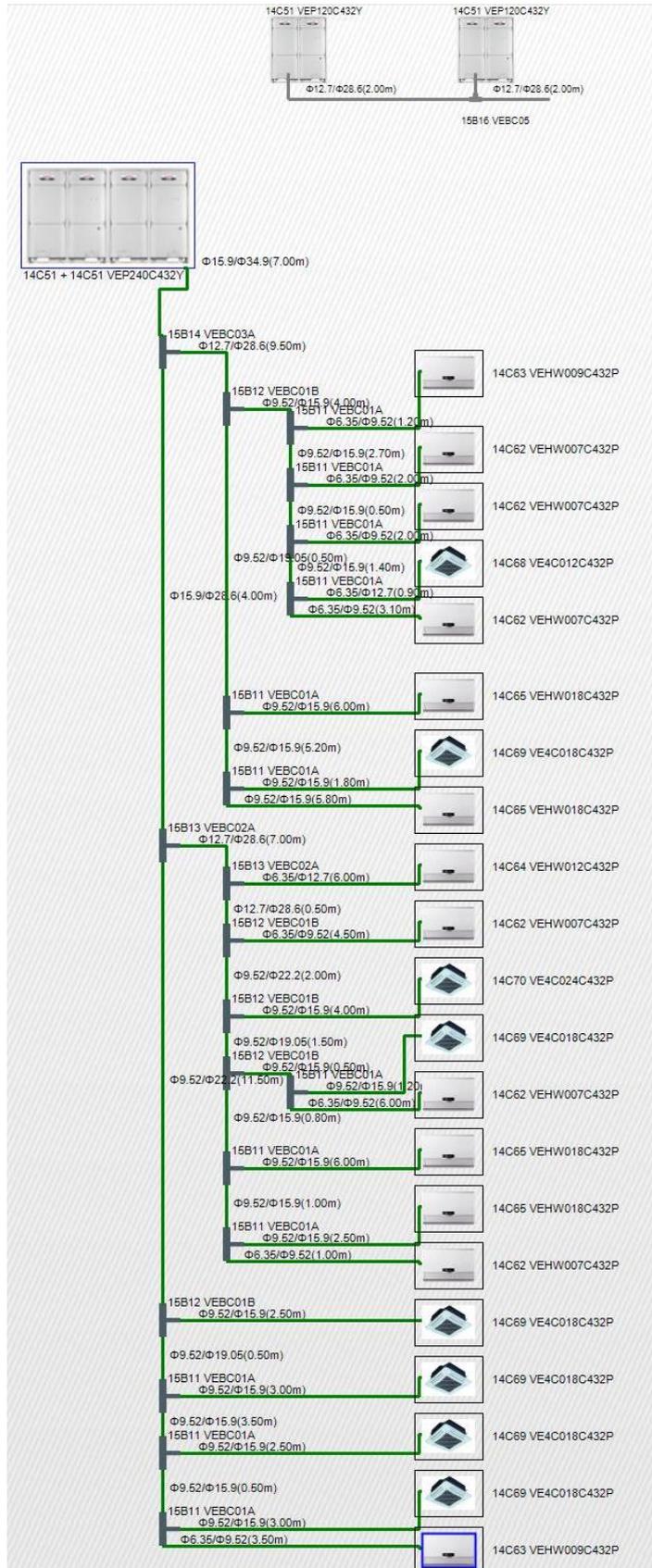
Fuente: (Gree Electric Appliances Inc., 2016)

## Anexo 18. Interfaz principal del VRF Selector



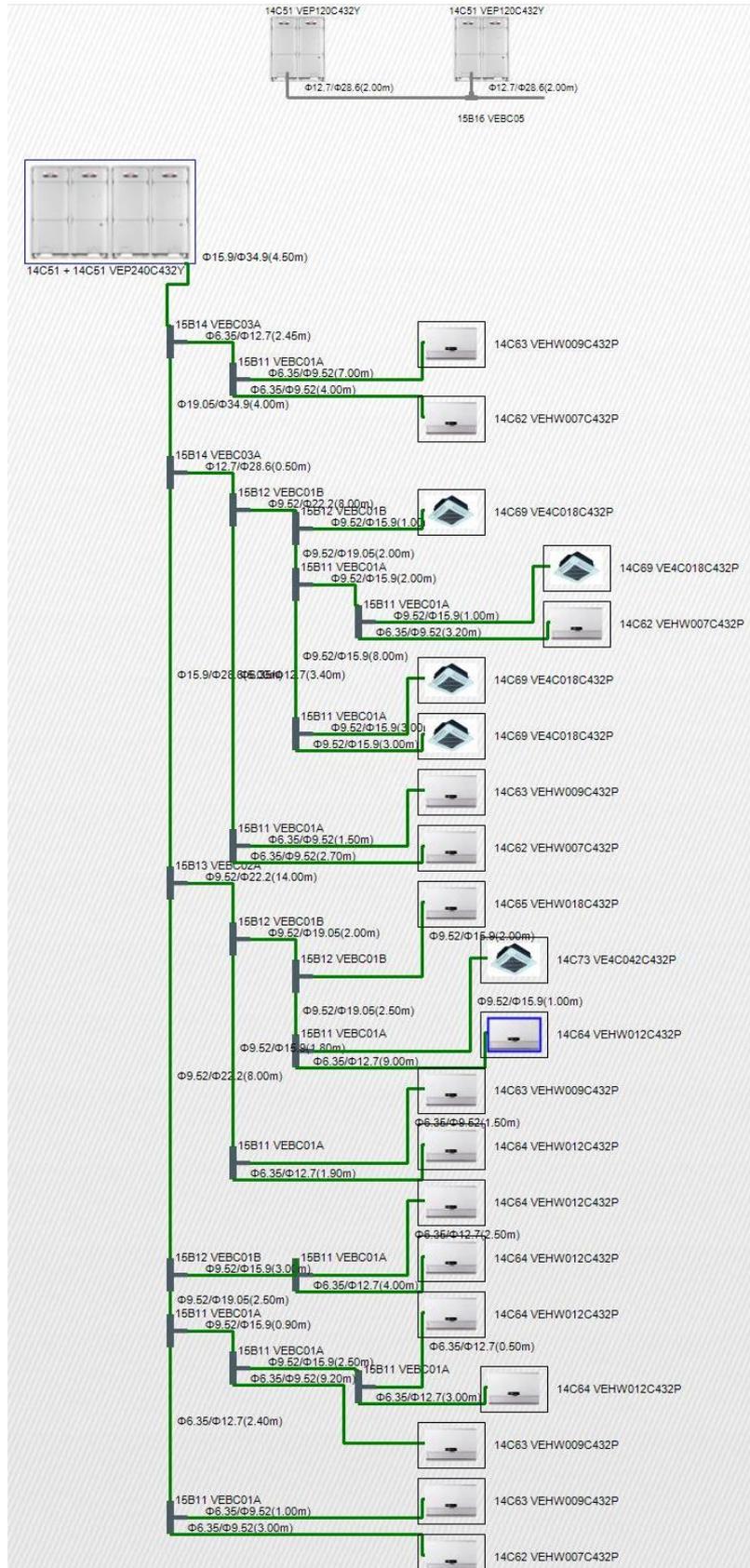
Fuente: (Gree Electric Appliances Inc., 2016)

## Anexo 19. Selección de equipos VRF para lado derecho del edificio



Fuente: (Gree Electric Appliances Inc., 2016)

## Anexo 20. Selección de equipos VRF para lado izquierdo del edificio



Fuente: (Gree Electric Appliances Inc., 2016)

## **Anexo 21. Ficha técnica de unidad condensadora y certificación AHRI**



**SUBMITTAL DATA - OUTDOOR UNIT**  
**VEP120C432Y**  
**VRF HEAT PUMP**  
**208-230/3/60**

Job Name: \_\_\_\_\_  
 Location: \_\_\_\_\_  
 Schedule No.: \_\_\_\_\_  
 System Designation: \_\_\_\_\_

Engineer: \_\_\_\_\_  
 Architect: \_\_\_\_\_  
 Date: \_\_\_\_\_  
 For: Reference Approval Review Construction

**FEATURES**

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

**PRODUCT WARRANTY**

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

**SPECIFICATIONS**

**PERFORMANCE**

Cooling Capacity* (Btu/h)		114,000	
EER	(W/W)	Ducted	3.28
		Non Ducted	3.63
		Mixed	3.46
	(Btu/h)/W	Ducted	11.20
		Non Ducted	12.40
		Mixed	11.80
IEER	(Btu/h)/W	Ducted	22.30
		Non Ducted	25.20
		Mixed	23.75
Cooling Power Input (W)		9,580	
Heating Capacity(47°F)* (Btu/h)		129,000	
COP (47°F)	(W/W)	Ducted	3.30
		Non Ducted	3.95
		Mixed	3.63
Heating Capacity(17°F)* (Btu/h)		87,000	
COP (17°F)	(W/W)	Ducted	2.30
		Non Ducted	2.41
		Mixed	2.36
Heating Power Input (W)		10,420	

**ELECTRICAL DATA**

Power Supply	208-230/3/60
MOCP (A)	80
MCA (A)	
No. of Compressors	2
No. of Fans	2

**GENERAL DATA**

Combination Ratio Indoor / Outdoor	50% to 125%
Max. # of Indoor Units	23 units
Sound Pressure Level (dBA)	63
Refrigerant Type	R410a
Factory Refrigerant Charge (oz)	345.7

**DIMENSIONS**

Unit Dimensions (in)	Height	63 1/4
	Width	52 3/4
	Depth	30 1/8
Liquid Pipe Connection (in)	1/2	
Gas Pipe Connection (in)	1	
Shipping Weight (lb)	826.9	
Net Weight (lb)	793.8	



NOTES: \*Cooling and Heating Capacity data AHRI-1230-2010 conditions



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.

# Certificate of Product Ratings

AHRI Certified Reference Number : 9956577

Date : 10-01-2018

Model Status : Active

Brand Name : LENNOX VRF

AHRI Type : HMSV-A-CB

Indoor Type : Non-Ducted Indoor Units

System Model Number : VEP240C432Y

Module Model Number 1 : VEP120C432Y

Module Model Number 2 : VEP120C432Y

Rated as follows in accordance with the latest edition of AHRI Standard 1230 for VRF Air-Conditioning and Heat Pump Equipment and subject to rating accuracy by AHRI-sponsored, independent, third party testing:

Cooling Capacity (95F) : 228000

EER (95F) : 10.80

IEER : 23.40

High Heat (47F) : **256000**

High COP (47F) : 3.49

Low Heat (17F) : 168000

Low COP (17F) : 2.23



†"Active" Model Status are those that an AHRI Certification Program Participant is currently producing AND selling or offering for sale; OR new models that are being marketed but are not yet being produced."Production Stopped" Model Status are those that an AHRI Certification Program Participant is no longer producing BUT is still selling or offering for sale.

Ratings that are accompanied by WAS indicate an involuntary re-rate. The new published rating is shown along with the previous (i.e. WAS) rating.

#### DISCLAIMER

AHRI does not endorse the product(s) listed on this Certificate and makes no representations, warranties or guarantees as to, and assumes no responsibility for, the product(s) listed on this Certificate. AHRI expressly disclaims all liability for damages of any kind arising out of the use or performance of the product(s), or the unauthorized alteration of data listed on this Certificate. Certified ratings are valid only for models and configurations listed in the directory at [www.ahrirectory.org](http://www.ahrirectory.org).

#### TERMS AND CONDITIONS

This Certificate and its contents are proprietary products of AHRI. This Certificate shall only be used for individual, personal and confidential reference purposes. The contents of this Certificate may not, in whole or in part, be reproduced; copied; disseminated; entered into a computer database; or otherwise utilized, in any form or manner or by any means, except for the user's individual, personal and confidential reference.

#### CERTIFICATE VERIFICATION

The information for the model cited on this certificate can be verified at [www.ahrirectory.org](http://www.ahrirectory.org), click on "Verify Certificate" link and enter the AHRI Certified Reference Number and the date on which the certificate was issued which is listed above, and the Certificate No., which is listed at bottom right.

©2018 Air-Conditioning, Heating, and Refrigeration Institute



AIR-CONDITIONING, HEATING,  
& REFRIGERATION INSTITUTE

we make life better™

**CERTIFICATE NO.:**

131829171305828698

## Anexo 22. Tarifa eléctrica comercial T-CO del CNFL

Modificación Tarifaria rige del día Domingo 01 de Julio del 2018 Publicado en Alcance 123 del miércoles 27 de junio del 2018 (Tarifa Incluye CVC)			
Bloques de consumo			
Consumo menor o igual a 3.000 kWh			¢ 122,92
	Por Consumo de Energía	Bloque de 0- 3.000 kWh Cargo Fijo	¢ 222.000,00
		Bloque mayor a 3.000 kWh cada kWh	¢ 74,00
	Cargo por Potencia	Bloque 0- 8 KW Cargo Fijo	¢ 92.665,76
		Bloque mayor a 8 kW	¢ 11.583,22

Fuente: (CNFL, 2018)

