

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

TEC | Tecnológico
de Costa Rica



“Diseño de un sistema de aire acondicionado para confort térmico, aire acondicionado de precisión y ventilación industrial para los edificios de administración, laboratorio de control de calidad y laboratorio de metrología de RECOPE, Plantel El Alto, Ochomogo, acorde a la norma ASHRAE”

Informe de Práctica de Especialidad para optar por el Título de Ingeniero en Mantenimiento Industrial, grado licenciatura

Rafael Ángel Cascante Gómez

Cartago, junio 2018

CARTA DE ENTENDIMIENTO

Fecha: 2018-06-04

Señores
Instituto Tecnológico de Costa Rica
Sistema de Bibliotecas del Tecnológico

Yo Rafael Ángel Cascante Gómez

carné No. 201222104, si autorizo no autorizo, al Sistema de Bibliotecas del Tecnológico (SIBITEC), disponer del Trabajo Final de graduación, del cual soy autor, para optar por el grado de Licenciatura, en la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Industrial, presentado en la fecha 2018-06-06, con el título

Diseño de un sistema de aire acondicionado para confort térmico, aire acondicionado de precisión y ventilación industrial para los edificios de administración, laboratorio de control de calidad y laboratorio de metrología de RECOPE, Plantel El Alto, Ochoмого, acorde a la norma ASHRAE

para ser ubicado en el Repositorio Institucional y Catálogo SIBITEC, con el objetivo de ser visualizado a través de la red Internet.

Firma de estudiante:



Correo electrónico:

cascantegomez@gmail.com

Cédula No.:

1-1583-0393

Hoja de información

Información del estudiante

Nombre: Rafael Ángel Cascante Gómez

Cédula: 1-1583-0393

Carné ITCR: 201222104

Dirección de residencia en época lectiva: Aserrí, San José

Dirección de residencia en época no lectiva: Aserrí, San José

Teléfono en época lectiva: 8711-7732

Teléfono en época no lectiva: 2250-2621

Correo electrónico: cascantegomez@gmail.com

Información del proyecto

Nombre del proyecto: Diseño de un sistema de aire acondicionado para confort térmico, aire acondicionado de precisión y ventilación industrial para los edificios de administración, laboratorio de control de calidad y laboratorio de metrología de RECOPE, Plantel El Alto, Ochoмого, acorde a la norma ASHRAE

Profesor asesor: Ing. José Alberto Garro Zavaleta

Horario de trabajo del estudiante: lunes a viernes de 7:00 a.m. a 5:30 p.m.

Información de la empresa

Nombre: AC Servicios S.A.

Zona: San José

Dirección: Paseo Colón, 250 metros norte de la Purdy Motors.

Actividad principal: Diseño, venta, instalación y servicios de mantenimiento preventivo y correctivo a sistemas de aires acondicionados para locales comerciales, industriales y residenciales.

Asesor industrial: Ing. Diego Trejos Corea

Teléfono: 2223-5300 EXT: 102

Correo electrónico: dtrejos@acServicioscr.com

Dedicatoria

“Hay hombres que luchan un día y son buenos;
Hay otros que luchan un año y son mejores;
Hay quienes luchan muchos años y son muy buenos;
Pero hay los que luchan toda su vida,
Esos son los imprescindibles”
-Bertolt Brecht

A mi madre Miriam Gómez Elizondo;

A mi padre Rafael Cascante Morales;

Por luchar toda su vida;
Por luchar por mí;
Por enseñarme a luchar;

Que este logro los llene tanto de orgullo y felicidad,
como a mí;
El honor de poder llamarlos mis padres.

Agradecimiento

En la culminación de una de las etapas más fructíferas de mi vida, sólo queda hacer una pausa y agradecer a Dios y la Virgen María.

A mi madre Miriam Gómez, no me alcanzan las palabras para agradecer todo lo que has hecho por mí. Gracias por ser ese modelo de lucha y superación. Gracias por siempre orientarme. A mi padre Rafael Cascante, gracias por ser mi mano derecha, mi consejero y ese apoyo incondicional. A los dos, gracias por todo el sacrificio realizado para alcanzar este anhelado sueño.

En especial a Ricardo mi hermano y a Alejandra Granera. A mi familia en general, en especial a mi tía Ana, a Mari y a mi difunta abuela Elba, por siempre apoyarme y motivarme a salir adelante.

A Marvin Santos y a la Compañía Folclórica Tierra y Cosecha, por darme la oportunidad y creer en mí. Por ser parte fundamental de mi vida universitaria, permitirme representar a mi país en el extranjero, por aprender de la cultura costarricense y hacer integral mi educación.

A don Gustavo Hernández y a don Juan Carlos Schmitt de la empresa AC Servicios, por la oportunidad y apoyo brindado. A los todos los compañeros de trabajo y al Ing. Diego Trejos, mi asesor industrial.

A los profesores de la escuela de electromecánica, en especial al profesor Ignacio del Valle, Oscar Monge, y Alberto Garro por su paciencia, consejos y dedicación, gracias por marcar la diferencia. A todas aquellas personas que me acompañaron en esta etapa universitaria de forma directa o indirecta.

Por último, agradecer a la Institución por la oportunidad. Con orgullo: soy TEC.

Tabla de contenido

| | |
|---|----|
| Resumen..... | 17 |
| Abstract..... | 18 |
| Capítulo 1. Descripción de la empresa..... | 19 |
| 1.1 Aspectos generales..... | 19 |
| 1.2 Antecedentes históricos | 20 |
| 1.3 Ubicación de la empresa..... | 20 |
| 1.4 Políticas de la empresa..... | 20 |
| 1.5 Organización de la empresa | 21 |
| 1.6 Proceso productivo | 24 |
| 1.6.1 Solicitudes de proyectos..... | 24 |
| 1.6.2 Desarrollo de la solicitud | 25 |
| 1.6.3 Aprobación de la oferta | 25 |
| 1.6.4 Venta y ejecución del proyecto..... | 26 |
| 1.6.5 Comunicación entre departamentos..... | 27 |
| Capítulo 2. Definición del proyecto..... | 29 |
| 2.1 Justificación del proyecto | 29 |
| 2.1.1 Solicitud..... | 29 |
| 2.1.2 Justificación..... | 34 |
| 2.2 Planteamiento del problema | 36 |
| 2.3 Objetivos | 36 |
| 2.3.1 Objetivo general | 36 |
| 2.3.2 Objetivos específicos..... | 36 |

| | | |
|-------------|---|----|
| 2.3.3 | Metodología..... | 38 |
| Capítulo 3. | Marco teórico | 41 |
| 3.1 | Fundamentos teóricos..... | 41 |
| 3.1.1 | Conceptos básicos | 41 |
| | Principios de aire acondicionado | 44 |
| 3.1.2 | Ciclo de refrigeración..... | 45 |
| 3.1.3 | Confort humano..... | 46 |
| 3.2 | Carga de enfriamiento..... | 48 |
| 3.2.1 | Conducción a través de la estructura exterior | 50 |
| 3.2.2 | Conducción a través de la estructura interior | 52 |
| 3.2.3 | Radiación solar a través de vidrios..... | 52 |
| 3.2.4 | Alumbrado | 53 |
| 3.2.5 | Personas | 54 |
| 3.2.6 | Carga de calor sensible..... | 54 |
| 3.2.7 | Equipos | 55 |
| 3.2.8 | Infiltración | 56 |
| 3.2.9 | Factor de corrección de carga sensible..... | 58 |
| 3.3 | Aplicaciones..... | 59 |
| 3.3.1 | Cuartos limpios..... | 60 |
| 3.3.2 | Laboratorios | 61 |
| 3.4 | Ventilación Industrial..... | 62 |
| 3.4.1 | Tipos de ventiladores | 63 |
| 3.4.2 | Tasa de ventilación..... | 64 |
| 3.4.3 | Diseño de ductos..... | 65 |

| | | |
|-------------|--|-----|
| 3.5 | Sistemas de aire acondicionado | 68 |
| 3.5.1 | Fundamentos | 69 |
| 3.5.2 | Componentes de un sistema de aire acondicionado | 71 |
| 3.5.3 | Equipos de aire acondicionado para confort | 74 |
| 3.5.4 | Equipos de aire acondicionado para precisión | 77 |
| 3.5.5 | Rueda desecante | 78 |
| Capítulo 4. | Propuesta de diseño | 80 |
| 4.1 | Cálculo de carga de enfriamiento | 82 |
| 4.1.1 | Laboratorio general | 83 |
| 4.1.2 | Área de octanaje | 85 |
| 4.1.3 | Resumen de carga de enfriamiento..... | 86 |
| 4.2 | Aire acondicionado para confort | 91 |
| 4.3 | Aire acondicionado para precisión | 98 |
| 4.3.1 | Diseño para recintos: Calibración dimensional - Temperatura y electricidad..... | 100 |
| 4.3.2 | Diseño para recintos: Temperatura y humedad - Presión y densidad.. | 101 |
| 4.3.3 | Dimensionamiento de ductos y cálculo de la caída de presión para el sistema de aire acondicionado de precisión. | 103 |
| 4.4 | Diseño sistema de ventilación..... | 112 |
| 4.4.1 | Dimensionamiento de ductos y cálculo de la caída de presión para el sistema de aire acondicionado de precisión | 114 |
| 4.4.2 | Selección de equipos para sistema de ventilación | 121 |
| Capítulo 5. | Presupuesto del proyecto..... | 123 |
| 5.1 | Consideraciones para el presupuesto..... | 124 |
| 5.2 | Presupuesto para sistema de aire acondicionado para confort térmico..... | 126 |

| | | |
|-------------|---|-----|
| 5.2.1 | Resumen del presupuesto para el sistema | 128 |
| 5.3 | Presupuesto para sistema de aire acondicionado de precisión | 128 |
| 5.3.1 | Resumen del presupuesto para el sistema | 131 |
| 5.4 | Presupuesto para sistema de ventilación..... | 131 |
| 5.5 | Presupuesto inicial total | 133 |
| 5.5.1 | Opcional: Mantenimiento preventivo | 134 |
| Capítulo 6. | Conclusiones y recomendaciones..... | 137 |
| 6.1 | Conclusiones | 137 |
| 6.2 | Recomendaciones | 138 |
| Capítulo 7. | Bibliografía | 139 |
| Apéndice | | 142 |
| Anexos | | 159 |

Índice de tablas

| | |
|--|-----|
| Tabla 2.2.1. Requerimientos edificio laboratorio de control de calidad | 30 |
| Tabla 2.2.2. Requerimientos del edificio laboratorio de metrología..... | 31 |
| Tabla 2.2.3. Requerimientos planta baja del edificio administrativo..... | 32 |
| Tabla 2.2.4. Requerimientos planta alta del edificio administrativo..... | 33 |
| Tabla 4.1. Valores psicrométricos para Ochoyogo, Cartago..... | 82 |
| Tabla 4.2. Resumen carga de enfriamiento para el recinto: Laboratorio General | 83 |
| Tabla 4.3. Carga total de enfriamiento para el recinto: Área de octanaje | 85 |
| Tabla 4.4. Resumen de carga total de enfriamiento para los recintos con implementación de un sistema de aire acondicionado para confort..... | 87 |
| Tabla 4.5. Resumen de equipos empleados para sistema VRV | 93 |
| Tabla 4.6. Condensadoras para sistema VRV y equipos evaporadoras asociadas... | 94 |
| Tabla 4.7. Resumen de carga total de enfriamiento para los recintos con implementación de un sistema de aire acondicionado de precisión..... | 98 |
| Tabla 4.8. Resumen de equipos Split inverter seleccionados para los recintos: Calibración dimensional y Temperatura-Electricidad | 101 |
| Tabla 4.9. Resumen de equipos ruedas desecantes para los recintos: Calibración dimensional y Temperatura-Electricidad | 101 |
| Tabla 4.10. Resumen de equipos de precisión seleccionados para los recintos: Temperatura-Humedad y Presión-Densidad..... | 103 |
| Tabla 4.11. Resumen de equipo rueda desecante para recinto Presión y Densidad | 103 |
| Tabla 4.12. Dimensionamiento y cálculo de caída de presión para suministro del recinto Temperatura y Humedad | 104 |
| Tabla 4.13. Dimensionamiento y cálculo de caída de presión para suministro del recinto Presión y Densidad | 105 |
| Tabla 4.14. Dimensionamiento y cálculo de caída de presión para retorno de los recintos: Presión-Densidad y Temperatura-Humedad | 106 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 4.15. Dimensionamiento y cálculo de caída de presión para rueda desecante RD-03 | 107 |
| Tabla 4.16. Dimensionamiento y cálculo de caída de presión para el recinto de Tiempo y Electricidad..... | 108 |
| Tabla 4.17. Dimensionamiento y cálculo de caída de presión para el recinto de Calibración Dimensional | 110 |
| Tabla 4.18. Resumen de cargas de ventilación | 113 |
| Tabla 23. Dimensionamiento y cálculo de caída de presión para suministro de recintos de control de calidad. | 114 |
| Tabla 24. Dimensionamiento y cálculo de caída de presión para retorno de recintos de control de calidad. | 115 |
| Tabla 25. Dimensionamiento y cálculo de caída de presión para suministro del recinto laboratorio general de control de calidad. | 117 |
| Tabla 26. Dimensionamiento y cálculo de caída de presión para recinto baños del edificio administrativo | 118 |
| Tabla 27. Dimensionamiento y cálculo de caída de presión para recinto cafetín del edificio administrativo | 120 |
| Tabla 4.24. Selección de tipo de ventilador por sector en diseño | 121 |
| Tabla 4.25. Selección de equipos para el sistema de ventilación | 122 |
| Tabla 5.1 Desglose del presupuesto para aire acondicionado para confort térmico | 126 |
| Tabla 5.2. Resumen del presupuesto para aire acondicionado para confort térmico | 128 |
| Tabla 5.3. Desglose de presupuesto para aire acondicionado de precisión | 129 |
| Tabla 5.4. Resumen del presupuesto para aire acondicionado de precisión | 131 |
| Tabla 5.5. Desglose de presupuesto para ventilación..... | 131 |
| Tabla 5.6. Resumen de presupuesto para ventilación | 132 |
| Tabla 5.7. Presupuesto de mantenimiento preventivo | 136 |

Índice de figuras

| | |
|---|-----|
| Figura 1.1 Organigrama general A/C Servicios..... | 22 |
| Figura 1.2 Organigrama de Gerencia de proyectos | 23 |
| Figura 1.3. Diagrama del proceso productivo | 28 |
| Figura 2.1. Diagrama Grantt para el desarrollo del proyecto | 40 |
| Figura 3.1. Carta psicrométrica Carrier | 43 |
| Figura 3.2. Diagrama de bloques de un sistema de aire acondicionado..... | 46 |
| Figura 3.3. Zona de confort según temperatura de aire y humedad relativa..... | 48 |
| Figura 3.4. Componentes de ganancia de calor en un recinto | 49 |
| Figura 3.5. Tipos de ventiladores centrífugos | 64 |
| Figura 3.6. Tipos de ventiladores axiales..... | 64 |
| Figura 3.7. Sistema de refrigeración por compresión de vapor..... | 71 |
| Figura 3.8. Corte de una válvula termostática de expansión | 74 |
| Figura 3.9. Manejadora tipo cassette flujo circular | 76 |
| Figura 3.10. Diagrama de una rueda desecante | 79 |
| Figura 4.1. Análisis psicrométrico para Ochoмого, Cartago | 81 |
| Figura 4.2. Opciones de equipo por el programa "Caps" de GreenHeck..... | 122 |

Índice de ecuaciones

| | |
|--|----|
| Ecuación 3.1. Ganancia de calor por conducción | 50 |
| Ecuación 3.2. Corrección de DTCE | 51 |
| Ecuación 3.3. Factor de corrección DTCE para vidrios..... | 52 |
| Ecuación 3.4. Ganancia de calor en la estructura interior..... | 52 |
| Ecuación 3.5. Ganancia por radiación solar a través del vidrio..... | 52 |
| Ecuación 3.6. Ganancia neta del recinto por alumbrado..... | 53 |
| Ecuación 3.7. Ganancia de calor sensible por personas | 54 |
| Ecuación 3.8. Ganancia de calor latente por personas..... | 55 |
| Ecuación 3.9. Ganancia de calor sensible por infiltración | 56 |
| Ecuación 3.10. Ganancia de calor latente por infiltración | 57 |
| Ecuación 3.11. Tasa de infiltración de aire | 58 |
| Ecuación 3.12. Factor para corregir ganancia de calor sensible en el recinto | 58 |
| Ecuación 3.13. Conductancia de la unidad de longitud..... | 59 |
| Ecuación 3.14. Pérdida total de la presión a través de un accesorio | 67 |

Índice de apéndices

| | |
|---|-----|
| Apéndice 1. Plantilla para cálculo de la carga de enfriamiento | 142 |
| Apéndice 2. Plantilla para cálculo de la carga de ventilación | 149 |
| Apéndice 3. Diagrama de los sistemas desarrollados en el diseño | 150 |

Índice de anexos

| | |
|--|-----|
| Anexo 1. Diferencias de carga de enfriamiento por temperatura para techos | 159 |
| Anexo 2. Diferencias de carga de enfriamiento por temperatura para paredes | 160 |
| Anexo 3. Coeficiente de transferencia de calor para paredes de construcción | 161 |
| Anexo 4. Coeficiente global de transferencia de calor para el vidrio | 162 |
| Anexo 5. Factor de corrección por latitud | 163 |
| Anexo 6. Diferencia de temperatura por conducción a través de vidrio | 164 |
| Anexo 7. Coeficiente de sombreado para vidrios | 164 |
| Anexo 8. Factor de ganancia solar para vidrio | 165 |
| Anexo 9. Factores de carga para vidrio sin sombreado interior | 166 |
| Anexo 10. Tasa de ganancia de calor debida a los ocupantes del recinto acondicionado | 167 |
| Anexo 11. Factores de calor sensible para cargas de enfriamiento debido a personas | 167 |
| Anexo 12. Ganancia de calor debido a aparatos domésticos | 168 |
| Anexo 13. Calor generado por equipo motorizado | 169 |
| Anexo 14. Cambios de aire por hora en residencias por infiltración | 169 |
| Anexo 15. Requisitos de ventilación para ocupantes del recinto | 170 |
| Anexo 16. Cambios de aire recomendados por Greenheck | 171 |
| Anexo 17. Caudal de infiltración para diferencial de presión en el recinto | 171 |
| Anexo 18. Gráfica de pérdida de fricción para ductos redondos de hierro galvanizado | 172 |
| Anexo 19. Dimensiones para ducto según diámetro equivalente para hierro galvanizado | 173 |
| Anexo 20. Gráfica de pérdida de fricción para ductos redondos de P3 | 174 |
| Anexo 21. Dimensiones para ducto según diámetro equivalente para P3 | 175 |
| Anexo 22. Velocidades sugeridas en sistemas de acondicionamiento de aire | 177 |
| Anexo 23. Coeficientes de pérdidas de presión en accesorios rectangulares | 177 |
| Anexo 24. Reporte meteorológico del IMN para Ochomogo, Cartago | 179 |

| | |
|--|-----|
| Anexo 25. Fichas técnicas para los equipos seleccionados de ventilación..... | 180 |
| Anexo 26. Ficha técnica para sistema de aire acondicionado para confort térmico VRV | 194 |
| Anexo 27. Ficha técnica sistema de precisión equipo Rueda Desecante | 196 |
| Anexo 28. Ficha técnica equipo para aire acondicionado de precisión | 197 |
| Anexo 29. Ficha técnica soportes tipo Strut B-Line..... | 199 |
| Anexo 30. Ficha técnica cañuela ARMAFLEX | 200 |

Resumen

El desarrollo de este informe de práctica profesional consiste en el diseño de tres diferentes sistemas de control de aire. Los sistemas de ventilación industrial, aire acondicionado para confort térmico y aire acondicionado de precisión van a aplicarse como solución a tres diferentes edificios.

Consisten en el laboratorio de metrología, el laboratorio de control de calidad y el edificio de dos plantas de administración, ubicados en Ochomogo, Cartago. Como cada uno tiene diferentes consideraciones, la solución de diseño se desarrolla para cada sistema de control de aire.

Las condiciones para el diseño de aire acondicionado para confort son de 23 ° C y 50% HR en todas las habitaciones para intervenir. El equipo tendrá que ser capaz de adaptarse a la carga de enfriamiento y garantizar las condiciones de consigna sin importar cómo cambie carga a lo largo del tiempo en el que el equipo trabaje.

El diseño para aire acondicionado de precisión tiene que ser capaz de mantener el sistema en condiciones de 20 ° C y 50% de humedad relativa dentro de un rango de exactitud a definir por el cliente. Por lo tanto, el equipo debe controlar la temperatura y la humedad relativa para garantizar que dichas condiciones permanezcan en el rango definido.

El sistema de ventilación debe proporcionar la tasa de cambio de aire acorde a cada recinto a intervenir. Debe considerar la distribución del aire y la selección de los equipos. Después se realiza el diseño completo, para terminar el informe es necesario hacer un presupuesto inicial para la ejecución del proyecto y las recomendaciones para mejora del diseño.

Palabras claves: ventilación, aire acondicionado, confort térmico, precisión.

Abstract

The development of this professional practice report consists in the design of three different air control system. Thermal comfort air conditioning, precision air conditioning and industrial ventilation are going to be applied as a solution to the requirement of three buildings.

Metrology laboratory, quality control laboratory and two level of administration building are located in Ochomogo, Cartago. Since each one has different design considerations; the solution is developed for each air control.

The air conditioning design for thermal comfort conditions are 23°C and 50% of relative humidity (%RH) in all the rooms to intervene. The equipment will have to be able to adapt cooling load and guarantee that the set conditions are going to endure no matter how the load changes along the time the equipment is used.

The second system precision air conditioning, as the name suggests, must be able to keep both of the set conditions of 20°C and 50% RH within an exactness range define by the client. Therefore, the equipment has to handle the temperature as well as the relative humidity to secure the set conditions to stay in the definite range. The design has to provide the proper distribution of the air to guarantee the precision in the rooms to intervene.

The ventilation system has to provide the air change rate according to each room. Also, must consider the air distribution and the selection of the equipment's.

After the complete design is done, to finish the report it is necessary to make an initial budget for execution of the project and the recommendations to improve it.

Key words: ventilation, air conditioning, Thermal comfort, precision.

Capítulo 1. Descripción de la empresa

1.1 Aspectos generales

A/C Servicios S.A., es una empresa costarricense legalmente constituida. Se dedica a la venta, instalación y a brindar servicios de mantenimiento preventivo y correctivo a sistemas de aire acondicionado.

Ofrece dos grandes áreas de trabajo, aire acondicionado y ventilación industrial, a locales comerciales, industriales y residenciales. También provee a instituciones del estado, el sector privado como hoteles y a toda la gama de empresas de Costa Rica.

La empresa trabaja sistemas de aire acondicionado para sector residencial como equipos mini split, mini split de pared alta, piso cielo, tipo cassette, también se ofertan equipos Split de ductos. Por su parte, para sector comercial, se trabaja con equipos paquete, chiller y equipos volumen de refrigerante variable (VRV).

Para los sistemas de ventilación se cuenta con sistemas de extracción e inyección. El primer grupo cuenta con extractores centrífugos para techo, de pared y extractores de cielo o plafón.

Para la inyección se contemplan ventiladores de techo, axiales para pared, de uso comercial y de tipo tubulares. Además de estos dos modelos, se presentan soluciones de extracción para cocinas y focos de calor.

La empresa se encarga desde cotizar, suministrar, brindar mantenimiento y diseñar soluciones de aire acondicionado y ventilación para cualquier persona o empresa que lo requiera.

1.2 Antecedentes históricos

La empresa A/C Servicios nació en el año 2003 brindando servicios básicos y fue surgiendo de forma acelerada. De tan solo suministrar equipos, la empresa ha presentado un crecimiento significativo donde se ha abierto un espacio importante en el sector de la industria y el mercado de sectores de salud, hotelero, alimentación, comercial y residencial del país.

Por tanto, se cuenta con un gran número de instituciones y empresas que utilizan productos y servicios de aire acondicionado de forma diaria. Lo que ha ocasionado que ya no sólo se requiere suministro, sino también diseño, instalación y mantenimiento.

La empresa, con el pasar de los años, ha adquirido las herramientas para afrontar la necesidad que presenta el mercado y de esta forma consolidarse como una de las mejores empresas en servicios de aire acondicionado y ventilación en el país.

1.3 Ubicación de la empresa

La empresa queda ubicada en la provincia de San José, específicamente a 250 metros norte de la Purdy Motors en Paseo Colón.

1.4 Políticas de la empresa

A/C Servicios tiene como política: "Excelencia para la satisfacción de los clientes". La empresa busca brindar un servicio de calidad, para dar la mejor respuesta, la mejor instalación y los mejores equipos.

El compromiso con el cliente es ofrecer el mejor precio posible, brindando la mejor solución en aire acondicionado y ventilación, considerando siempre sus intereses.

Los empleados de A/C Servicios se rigen por los valores de la empresa: Responsabilidad, Integridad, Honestidad, Transparencia, Compromiso y Servicio. Estos son pilares fundamentales para alcanzar las políticas de la empresa y su funcionamiento como unidad.

1.5 Organización de la empresa

La organización de A/C Servicios consiste en un modelo multidisciplinario trabajando en función de dos conceptos claves: proyectos y ventas. La empresa no está conformada con una estructura jerárquica, sin embargo, existe una junta directiva cuya función es el control de todas las partes de la empresa.

Como se puede observar en la figura 1.1, la empresa está dividida en cinco grandes áreas en las que se divide la organización de la empresa: Junta Directiva, Gerencia de Proyectos, Gerencia de Ventas, Departamento de Contabilidad y Departamento de Servicios Técnicos.



Figura 1.1 Organigrama general A/C Servicios

Fuente: Elaboración propia con Microsoft Office Word 2010

Debido a que la empresa trabaja con un formato de proyectos, el modelo multidisciplinario es necesario para su correcta ejecución. Las labores de cada departamento deben estar correlacionadas debido a que sus funciones son necesarias para que otro departamento pueda operar.

Cada división trabaja en función de un proyecto en desarrollo o en un potencial proyecto a desarrollarse, por tanto, cada sección debe estar vinculada con la otra para que cada proyecto se desarrolle sin inconvenientes. Esto se abordará con mayor amplitud en la sección 1.6.

La gerencia de proyectos, bajo el mismo formato de trabajo, está dividido en cuatro sub departamentos: de Presupuesto, de Diseño, de Asistencia a Proyectos y de Instalación. Como se observa en la figura 1.2.

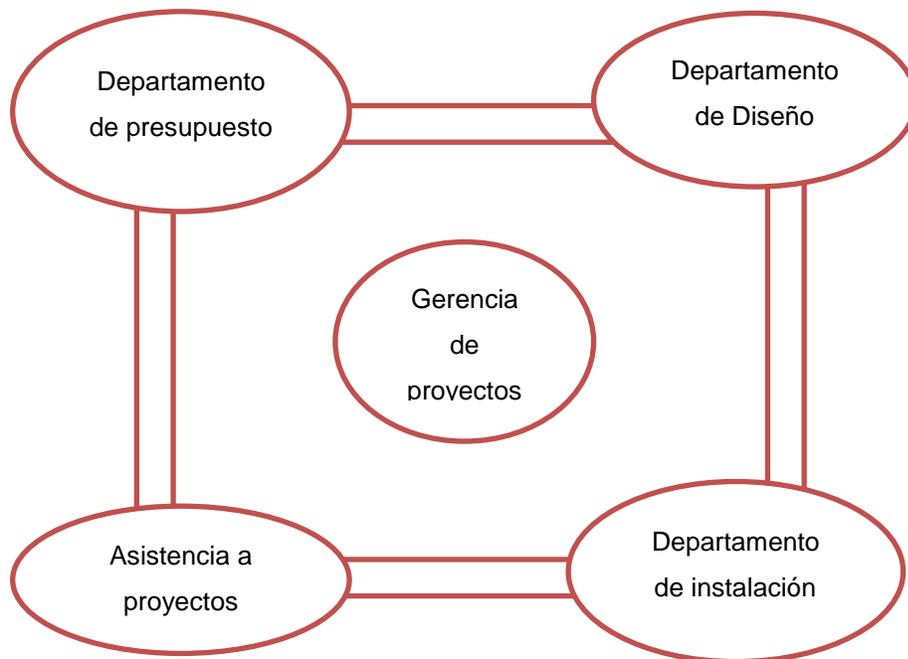


Figura 1.2 Organigrama de Gerencia de proyectos

Fuente: Elaboración propia con Microsoft Office Word 2010

Cada departamento cumple las siguientes funciones:

- Departamento de diseño:
 - Encargado de brindar la solución de aire acondicionado y/o ventilación al proyecto en desarrollo.
- Departamento de presupuesto:
 - Encargado de cotizar el costo del diseño elaborado.
- Asistencia a proyectos:
 - Encargados de brindar asistencia con trabajos menores a los demás departamentos.
- Departamento de instalación:

- Encargados de la instalación de los proyectos y verificar su correcto funcionamiento una vez instalado.

1.6 Proceso productivo

La empresa trabaja bajo la modalidad de proyectos. Dependiendo del tipo de solicitud así será el procedimiento a llevar a cabo. Los tipos de solicitudes pueden ser de diseño, suministro, instalación, mantenimiento o todos los anteriores. En esta sección y para efectos de esta práctica se desarrollará las solicitudes por diseño.

1.6.1 Solicitudes de proyectos

En A/C Servicios se abre solicitud una vez que el cliente contacta a la empresa en busca de una solución de aire acondicionado o ventilación. El cliente solicita una cotización y posteriormente, si es acorde a sus expectativas, decide contratar el servicio.

El cliente se comunica con la empresa indicando el tipo de proyecto que requiere. Puede ser diseño, mantenimiento, suministro y/o instalación. Debe brindar los datos necesarios como tipo de equipos, capacidades, planos, distancias de ductos, dimensiones de los ductos, entre otros.

En el caso de que se requiera diseño, el cliente debe entregar la información necesaria. A mayor especificación de información, mejor diseño es el que se puede realizar.

Gerencia de ventas analiza la viabilidad del proyecto. Una vez que determina que si es realizable abre un expediente o número de solicitud y lo comunica a gerencia de proyecto.

1.6.2 Desarrollo de la solicitud

Cuando son solicitudes de diseño, gerencia de proyectos delega el trabajo al departamento de diseño. Este se encarga de brindar la mejor solución de aire acondicionado y/o ventilación, según corresponda. El departamento elabora la distribución de tuberías de refrigerante, ductos, equipos, sensores, es decir, todo lo necesario para tener un diseño completo.

Una vez que se tiene un diseño preliminar se procede a analizar las variaciones para hacer más económico el proyecto y más eficiente. Cuando se tienen un diseño que satisfaga la necesidad del cliente, la solicitud procede al departamento de presupuesto.

Este departamento cotiza los equipos, proyecta el tiempo requerido para disponer de los equipos (en caso que sean de importación) y de los materiales necesarios para su ejecución.

Además, el departamento de presupuesto valora las opciones planteadas en el departamento de diseño y prepara una oferta con el modelo más económico. Se analiza la opción de presentarles las opciones al cliente para que este seleccione entre precio y eficiencia, el que se adapte mejor a sus intereses.

La oferta elaborada consiste en un documento donde se especifican los equipos y condiciones especiales del diseño. Se especifica el modelo de los equipos y elementos básicos como conexión eléctrica, nivel de ruido, certificaciones del equipo y todas las especificaciones de instalación. La oferta incluye también el diseño y su debida cotización.

1.6.3 Aprobación de la oferta

El siguiente paso es que Gerencia de Proyectos evalúa dicha oferta y determina si es factible realizarlo. De existir cambios se le comunica al departamento correspondiente para un rediseño y una nueva cotización.

Una vez que Gerencia de Proyectos aprueba la oferta, se comunica a la Gerencia de Ventas. En este punto se valora los porcentajes de gastos administrativos y utilidad de la empresa en función de brindar la mejor oferta posible.

Gerencia de Ventas aprueba o modifica la oferta. En caso de tener que modificar la oferta, la gerencia dispondrá del departamento de presupuesto o diseño para los posibles cambios.

Una vez que la oferta es aprobada, se envía al cliente que evalúa la opción de realizar el proyecto, es decir, si la oferta se adapta a sus expectativas y presupuesto.

1.6.4 Venta y ejecución del proyecto

Una vez enviada la oferta, el cliente decidirá entre comprar el proyecto o no. En caso de que decida hacerlo, se debe cobrar un adelanto especificado en la oferta. Una vez cancelado este monto se puede empezar la ejecución del mismo.

En este momento se envía el proyecto a Gerencia de Proyectos que con sus respectivos departamentos, coordina la compra de equipos y materiales necesarios. Una vez que se disponga de estos, se procede a realizar la instalación del proyecto.

Cuando el proyecto esté instalado y funcionando acorde al diseño propuesto, el cliente deberá cancelar el monto restante del proyecto. Realizada la instalación, se procede a archivar el proyecto.

En casos donde el cliente desee el servicio de mantenimiento deberá indicarlo en el momento de hacer la solicitud de diseño, de caso contrario, deberá pedir una nueva contratación específicamente de mantenimiento.

Si durante la ejecución e instalación del proyecto el cliente desea realizar cambios al diseño, la empresa procede a generar una nueva solicitud del mismo proyecto como una extra y se cobra por separado. Es decir, el alcance del proyecto es únicamente el estipulado en la oferta y cualquier modificación se asiste por separado.

1.6.5 Comunicación entre departamentos

Para las solicitudes de diseño se tiene un proceso productivo iterativo. El diseño inicial debe ser evaluado y rediseñado en casos en los que se requiera. Se debe indagar hasta que se brinde la mejor opción al cliente.

El departamento de presupuesto debe indicar en recomendaciones al departamento de diseño respecto a equipos y costos para que el diseño sea funcional y económico. En la figura 1.3 se observa el proceso productivo cuando se trabaja una solicitud de diseño.

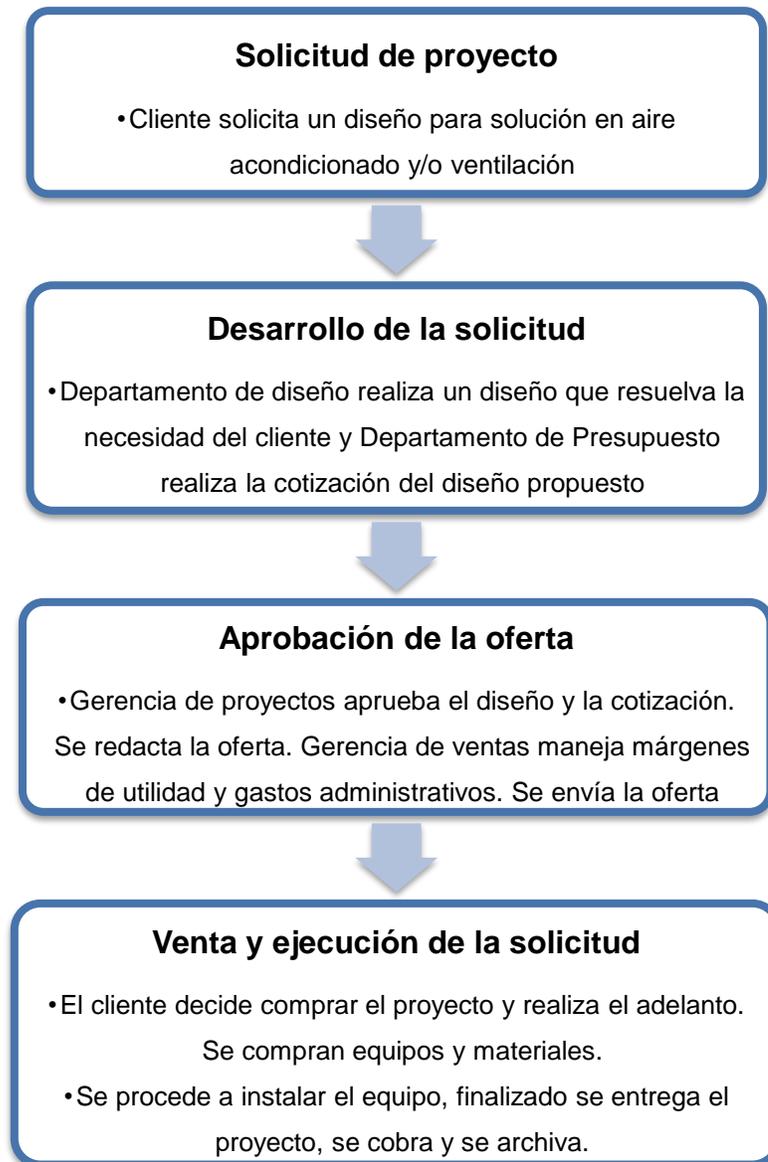


Figura 1.3. Diagrama del proceso productivo

Fuente: Elaboración propia con Microsoft Office Word 2010

Capítulo 2. Definición del proyecto

Como se explica en el capítulo anterior, la empresa trabaja bajo la modalidad de proyectos. En este documento se desarrollará el diseño de una solicitud por parte de la empresa costarricense RECOPE.

El proyecto consiste en un diseño de inyección y extracción de aire, un diseño de aire acondicionado para confort y un diseño de aire acondicionado de precisión para tres edificios nuevos. Cada edificio presenta una serie de condiciones que se deben estudiar para brindar una correcta solución.

2.1 Justificación del proyecto

2.1.1 Solicitud

El diseño corresponde a la necesidad de brindar una solución particular a tres edificios de RECOPE. En la solicitud, el ingeniero de la empresa mencionada, especifica los requerimientos de cada recinto.

Los edificios corresponden a un laboratorio de control de calidad, un laboratorio de metrología y a un edificio administrativo de dos plantas. Los laboratorios responden a una aplicación específica, por su parte el edificio administrativo debe presentar una condición de confort para sus ocupantes.

La solicitud entrante contempla todos los recintos que requieren diseño. El proyecto va orientado a solucionar la problemática expuesta por el solicitante. Por tanto, los recintos no desarrollados en el diseño, se consideran sin necesidad de intervención.

Entre las consideraciones generales, que define el cliente, se tiene que:

- Preferiblemente, todas las unidades evaporadoras sean de tipo Cassette.
- Preferiblemente, todos los equipos para conexión 440 V / 3 fases / 60 Hz.
- Para condiciones de confort: 23-25 °C y 45-60 % de humedad relativa (% HR).
- Para condiciones de precisión: 20°C y 50% de humedad relativa (%HR).

Para los recintos que requieren aire acondicionado de precisión, la humedad relativa no puede variar más de un 5% en el transcurso de cuatro horas. La temperatura debe mantenerse idealmente en el valor especificado. Los planos de cada edificio y la distribución de sus recintos se pueden observar en el apéndice 3.

2.1.1.1 Laboratorio de control de calidad

En la tabla 2.2.1, en la primera columna se indica el recinto del laboratorio y en la segunda columna el requerimiento a cumplir. En algunas casillas se especifican los cambios de aire requeridos, estos datos se deben de verificar, con la excepción del laboratorio general.

En este recinto el valor de caudal hace alusión a unas campanas de extracción, propias de la aplicación del recinto, que van a extraer ese valor nominal. En este también se requiere tener presión positiva de 12,5 Pa (0,05 pulgadas de columna de agua).

Tabla 2.2.1. Requerimientos edificio laboratorio de control de calidad

| Recinto | Requerimiento |
|------------------------|---|
| Custodia Frío/Caliente | Aire acondicionado |
| Cuarto de balanzas | Aire acondicionado Ventilación: Inyección y extracción Cambios de aire indicados: $404 \frac{m^3}{h}$ |

| Recinto | Requerimiento |
|---------------------------------|---|
| Cuarto de sustancias peligrosas | Aire acondicionado y ventilación Cambios de aire indicados: $908 \frac{m^3}{h}$ |
| Cuarto de octanaje | Aire acondicionado Ventilación: Inyección y extracción Cambios de aire indicados: $740 \frac{m^3}{h}$ |
| Laboratorio general | Aire acondicionado Ventilación: Inyección y extracción Cambios de aire indicados: $12\,500 \frac{m^3}{h}$ |
| Cuarto de área de lavado | Aire acondicionado Ventilación: Inyección y extracción Cambios de aire indicados: $580 \frac{m^3}{h}$ |

Fuente: Elaboración propia con Microsoft Office Word 2010

2.1.1.2 Laboratorio de metrología

En la tabla 2.2.2, en la primera columna se indica el recinto del laboratorio y en la segunda columna el requerimiento a cumplir. En este laboratorio se requieren equipos de aire acondicionado de precisión. La tabla 2.2.2 indica los valores de precisión requeridos y su criticidad indicada por el solicitante.

Tabla 2.2.2. Requerimientos del edificio laboratorio de metrología

| Recinto | Requerimiento |
|------------------------------------|--|
| Laboratorio central | Aire acondicionado |
| Recinto de calibración dimensional | Aire acondicionado de precisión: <ul style="list-style-type: none"> • 50% HR Preferiblemente a 20°C |

| Recinto | Requerimiento |
|----------------------------------|--|
| Recinto de temperatura y humedad | Aire acondicionado de precisión: <ul style="list-style-type: none"> • 50% HR • 20°C |
| Recinto de presión y densidad | Aire acondicionado de precisión: <ul style="list-style-type: none"> • 50% HR • 20°C Ventilación: Extracción <ul style="list-style-type: none"> • Extracción manual de 20% del aire recirculado en el recinto. |
| Recinto de tiempo y electricidad | Aire acondicionado de precisión: <ul style="list-style-type: none"> • 50% HR Preferiblemente a 20°C |

Fuente: Elaboración propia con Microsoft Office Word 2010

2.1.1.3 Edificio administrativo

Este edificio se compone de dos pisos. Constituido por oficinas, salas de reuniones, pasillos, entre otros. A diferencia de los dos edificios anteriores, todos los recintos se acondicionan, ya sea con ventilación o aire acondicionado.

En la tabla 2.2.3 se especifican la información para la planta baja. Por su parte la tabla 2.2.4 indica la información requerida para la planta alta.

Tabla 2.2.3. Requerimientos planta baja del edificio administrativo

| Recinto | Requerimiento |
|------------------------|--------------------|
| Metrología empresarial | Aire acondicionado |
| Jefatura metrología | Aire acondicionado |

| Recinto | Requerimiento |
|---|-------------------------|
| Reuniones metrología | Aire acondicionado |
| Vestíbulo y pasillos | Aire acondicionado |
| Control de calidad | Aire acondicionado |
| Coordinación técnica control de calidad | Aire acondicionado |
| Jefatura control de calidad | Aire acondicionado |
| Reuniones control de calidad | Aire acondicionado |
| Cafetín | Ventilación: Extracción |
| Servicios sanitarios hombres y mujeres | Ventilación: Extracción |

Fuente: Elaboración propia con Microsoft Office Word 2010

Tabla 2.2.4.Requerimientos planta alta del edificio administrativo

| Recinto | Requerimiento |
|---|-------------------------|
| Administración metrología empresarial | Aire acondicionado |
| Reuniones metrología | Aire acondicionado |
| Administración dirección aseguramiento de calidad | Aire acondicionado |
| Dirección de aseguramiento de la calidad | Aire acondicionado |
| Reuniones | Aire acondicionado |
| Sala de espera y pasillos | Aire acondicionado |
| Sala para uso futuro | Aire acondicionado |
| Cafetín | Ventilación: Extracción |
| Servicios sanitarios hombres y mujeres | Ventilación: Extracción |

Fuente: Elaboración propia con Microsoft Office Word 2010

2.1.2 Justificación

Para efectos de la construcción o la remodelación de un edificio, no basta con la parte estructural o eléctrica, también se debe considerar el aire que se encuentra dentro del edificio. La calidad y el tratamiento del aire va a influir en el proceso productivo desarrollado en el recinto, por tanto, los edificios deben brindar una condición acorde a la aplicación del lugar.

El diseño a realizar involucra un edificio administrativo y dos laboratorios. Respecto al edificio administrativo se debe velar por confort, pero los laboratorios deben, además, considerar otros elementos como presión positiva en el recinto, de temperatura y humedad precisa.

El diseño del edificio administrativo va orientado a brindar condiciones adecuadas de climatización a sus inquilinos, en permitirles estar un ambiente donde se sientan confortables respecto a las variables de temperatura y humedad relativa. Para aire acondicionado de precisión, el equipo debe tener la capacidad de tener en rango preciso estas variables.

Para aplicaciones diferentes a confort, como los laboratorios, se debe de analizar la necesidad que se tenga acorde a las normas competentes como la Sociedad Americana de Ingenieros en Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (ASHRAE, por sus siglas en inglés). El proyecto debe suministrar el diseño para satisfacer estas condiciones.

El diseño debe realizarse partiendo de la salud de las personas. La calidad del aire y su manipulación tiene un impacto directo en el estado de salud de los individuos que habiten un recinto. Con la implementación de un modelo de aire acondicionado o ventilación permite evitar el síndrome del edificio enfermo (SEE).

Para (ASHRAE, HANDBOOK FUNDAMENTALS Inch-Pound Edition., 2009), el SEE: describe una serie de síntomas adversos a la salud relacionados con personas que ocupan un edificio “enfermo”. Estos síntomas incluyen irritación en la nariz, fatiga, dolores de cabeza, dificultad de respirar y náuseas. Para evitar que se presenten dichos síntomas, se debe intervenir los recintos propensos a desarrollar el SEE.

La solicitud determina la necesidad existente de aire acondicionado, de aire acondicionado de precisión y de ventilación. Además, indica el recinto en el que se requiere. Para el alcance del proyecto se parte del hecho que el solicitante, RECOPE, hizo un estudio y determinó las razones por las cuales estos recintos requieren intervención.

El determinar qué recinto requiere o no intervención es sólo el inicio, se debe brindar un modelo que permita satisfacer las necesidades individuales. El diseño desarrollado debe ofrecer una solución funcional y rentable.

El modelo se desarrolla para solucionar, mediante un diseño de ingeniería, la faltante de tratamiento de aire en los nuevos edificios del plantel de RECOPE. El diseño presenta el reto de integrar un sistema ajeno a la estructura de los edificios. El mismo se debe adaptar a las condiciones estructurales dadas y ser funcional, lo que se presenta como un reto para el diseñador.

El proyecto se desarrolla de forma conceptual en las oficinas de la empresa AC Servicios, donde se realiza el estudio y se determina cuál diseño es más funcional y económicamente aceptable para cuidar los intereses del cliente.

2.2 Planteamiento del problema

¿Cómo solucionar la necesidad de aire acondicionado para confort, aire acondicionado de precisión y ventilación industrial para los edificios de administración, laboratorio control de calidad y laboratorio de metrología de RECOPE, Plantel El Alto, Ochomogo?

2.3 Objetivos

2.3.1 Objetivo general

Diseñar un sistema de aire acondicionado para confort térmico, aire acondicionado de precisión y ventilación industrial para los edificios de administración, laboratorio de control de calidad y laboratorio de metrología de RECOPE, Plantel El Alto, Ochomogo, acorde a la norma ASHRAE.

2.3.2 Objetivos específicos

1. Calcular la carga térmica y de ventilación requerida en cada recinto a climatizar.
2. Seleccionar los equipos de aire acondicionado para confort en función de la carga de enfriamiento.
3. Seleccionar los equipos de aire acondicionado de precisión en función de las especificaciones dadas.
4. Seleccionar los equipos de ventilación industrial en función de la curva de trabajo del ventilador.
5. Seleccionar el sistema tuberías para refrigerante y condensado.

6. Dimensionar el sistema de conductos en función de caída de presión y velocidad.
7. Dibujar los planos esquemáticos del diseño propuesto en el software Autodesk Auto Cad 2013
8. Presupuestar el costo total inicial para la ejecución del proyecto.

2.3.3 Metodología

Los objetivos enumerados anteriormente definen el alcance que tiene el diseño. Para cumplir con los objetivos se debe tener pasos claros a seguir. El método de trabajo a desarrollar determinará el éxito o no del proyecto.

En primera instancia se debe construir una base teórica que respalde el desarrollo del proyecto. En esta sección se deben incluir los conocimientos necesarios para llevar a cabo el diseño. Se debe incluir desde definiciones y consideraciones que se puedan realizar según norma ASHRAE y debe incluir el funcionamiento de los equipos a utilizar.

Una vez desarrollada la parte teórica, se debe proceder al cálculo de las cargas térmicas y de ventilación de cada recinto acondicionar y ventilar. Estos valores son la base para poder determinar qué equipo es el adecuado para la situación y de qué capacidades se requieren.

Se analizan las condiciones especiales y se vela por que se cumplen los requisitos indispensables de diseño. Se desarrolla por sistema de climatización, se debe seleccionar los equipos a utilizar acorde a la necesidad estudiada. También se seleccionan las tuberías de refrigerante y condensado (cuando se requiera) y se realiza el dimensionamiento de ductos en caso de ser necesario.

Con el diseño general realizado, se procede a dibujar los diagramas acordes y a realizar el presupuesto de equipos, materiales y mano de obra requerida para su ejecución.

Se procede a estimar un análisis económico y se estudian las opciones que cumplan con la solicitud, pero que sean económicamente, más viables. Se determina cuál es el

diseño a utilizarse. Por último, se establecen las conclusiones y recomendaciones pertinentes.

Para un correcto control durante el desarrollo del proyecto es necesario la aplicación de un diagrama Gantt, como se observa en la figura 2.1. Este diagrama permite llevar control de las actividades a realizar para poder cumplir con los objetivos.

| - | Actividad | Semana | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
| | | 05-feb | 12-feb | 19-feb | 26-feb | 05-mar | 12-mar | 19-mar | 26-mar | 02-abr | 09-abr | 16-abr | 23-abr | 30-abr | 07-may | 14-may | 21-may | 28-may |
| 1 | Reconocimiento del diseño a desarrollar | X | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | Desarrollo de plantilla para el cálculo de la carga térmica según ASHRAE | X | X | X | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | Desarrollo de plantilla para el cálculo de la carga de ventilación según ASHRAE | | | X | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | Cálculo de la carga térmica y de ventilación de los recintos | | | | X | X | | | | | | | | | | | | |
| 5 | Distribución y selección de equipos de aire acondicionado de confort | | | | | | X | | | | | | | | | | | |
| 6 | Distribución y selección de equipos de aire acondicionado de precisión | | | | | | | X | | | | | | | | | | |
| 7 | Distribución y selección de equipos de ventilación industrial | | | | | | | | X | | | | | | | | | |
| 8 | Selección de tuberías para refrigerante y condensado | | | | | | | | | X | | | | | | | | |
| 9 | Dimensionar de ductos de ventilación y aire acondicionado de precisión | | | | | | | | | X | | | | | | | | |
| 10 | Dibujar los planos de la distribución del diseño | | | | | | | | | | X | | | | | | | |
| 11 | Presupuestar los materiales requeridos para instalación | | | | | | | | | | | X | | | | | | |
| 12 | Presupuestar la mano de obra requerida para instalación | | | | | | | | | | | X | | | | | | |
| 14 | Estimar el análisis financiero | | | | | | | | | | | | X | | | | | |
| 13 | Redacción del informe final | | | | | | | | | | | | X | X | | | | |
| 15 | Revisión general del diseño | | | | | | | | | | | | | X | | | | |
| 16 | Conclusión de la redacción del informe final | | | | | | | | | | | | | X | X | | | |
| 17 | Entrega del borrador del informe final al profesor guía | | | | | | | | | | | | | | X | | | |
| 18 | Devolución del Informe final por parte del profesor guía. Aplicar correcciones | | | | | | | | | | | | | | | X | | |
| 19 | Revisión del informe final por parte del filólogo. Aplicar correcciones | | | | | | | | | | | | | | | | X | |
| 20 | Presentación de resultados del informe final del proyecto de práctica profesional ante Jurado Calificador | | | | | | | | | | | | | | | | | X |

Figura 2.1. Diagrama Gantt para el desarrollo del proyecto

Fuente: Elaboración propia con Microsoft Office Excel 2010

Capítulo 3. Marco teórico

3.1 Fundamentos teóricos

3.1.1 Conceptos básicos

El aire acondicionado, según (Schweitzer, 1974), “es el control de factores que afectan las condiciones atmosféricas que rodean al hombre dentro de una estructura; tales factores son la temperatura, humedad, polvo, olores, entre otros”.

El proceso consiste en la eliminación o de la transferencia de calor del interior del recinto al exterior. Por tanto, primero se debe comprender cuál es la funcionalidad de un sistema de aire acondicionado y cuáles son las variables que gobiernan su ejecución.

Acorde a lo anterior, el objetivo fundamental del aire acondicionado es climatizar un recinto, es decir, llevar las condiciones del ambiente a valores estandarizados que garanticen una sensación de confort. Para garantizar esto es necesario el conocimiento detallado de parámetros fundamentales como son la temperatura, humedad, calor y confort.

Para (Withman & Silberstein, 2010) la temperatura se puede considerar como una descripción del nivel de calor. Por su parte (Schweitzer, 1974) contempla tres tipos de temperatura: bulbo seco, bulbo húmedo y punto de condensación.

La primera se mide con un termómetro común y es la temperatura conocida de forma general. La temperatura de bulbo húmedo se mide en termómetro de bulbo húmedo y siempre es menor en cantidad que la de bulbo seco. El punto de condensación consiste en el valor al cual comienza la condensación del vapor de agua, en el instante que se reduce su temperatura.

Acorde a (Tricomi, 1992): “existen tres formas en la que el cuerpo pierde calor propio: por conducción, por convección y por radiación”. Por conducción, el calor circula desde un cuerpo de alta temperatura hasta otro que presente menor temperatura, esto se realiza por medio del contacto entre superficie de ambos cuerpos.

Para convección, el calor se elimina de un cuerpo por medio de un líquido, un gas o algún vapor en movimiento, implica que el cuerpo cede calor al medio que lo rodea y el medio le quita calor al cuerpo.

La transferencia de calor depende de la variación en la temperatura y la humedad del aire. Estos factores tienen gran influencia sobre la sensación agradable. (Tricomi, 1992), indica que existe una zona de confort que ronda cerca de los 21°C, fuera de ese rango las personas sienten o demasiado frío o demasiado calor.

Para su control, el aire seco se considera en la práctica como un gas perfecto, por lo que la humedad que tenga el aire es crucial para el correcto diseño. El aire húmedo, según (Miranda, 1999): “se supone que está constituido por una mezcla de aire seco y de vapor de agua”.

El aire entra a estado de saturación cuando se alcanza en una porción de aire la cantidad de vapor es la máxima posible para condensarse. Es decir, el aire no puede disolver mayor cantidad de vapor.

Al llegar a este estado se tiene una presión de saturación que depende de la temperatura. Acorde a (Miranda, 1999), el aire húmedo no saturado tiene vapor de agua, pero la presión parcial de vapor de agua es inferior a la presión de saturación. Cuando el aire húmedo está saturado, la presión parcial del vapor de agua es igual a la presión saturada.

Por tanto, la humedad relativa se considera como el coeficiente entre la presión parcial del vapor de agua en el aire y la presión de saturación. Esta es menor de la unidad y se puede expresar en porcentaje, si se tiene un 65% de humedad relativa, implica que falta un 35% para alcanzar el estado de saturación. A mayor porcentaje de humedad, mayor cantidad de vapor de agua en el aire.

Uno de los métodos para hallar la humedad relativa es el empleo de un gráfico psicrométrico, como se indica en la figura 3.1. Este es un gráfico de las propiedades termodinámicas del aire húmedo. Dicho gráfico involucra las variables de temperatura seca, humedad absoluta, humedad relativa. Con dos valores conocidos como temperatura y humedad relativa se puede obtener la humedad absoluta requerida en cálculos termodinámicos.

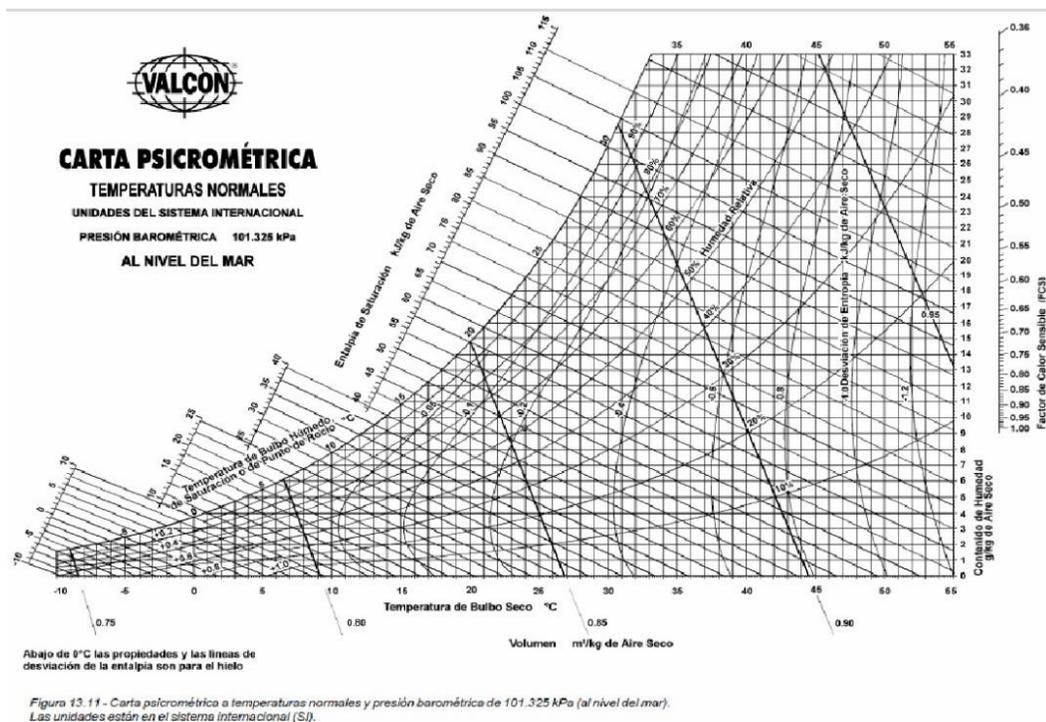


Figura 3.1. Carta psicrométrica Carrier

Principios de aire acondicionado

Pita, E. G. (2002), define aire acondicionado como el proceso de tratar el aire de un espacio interno cerrado; estableciendo y manteniendo estándares de temperatura, humedad, limpieza y movimiento del aire. Estas condiciones se controlan de la siguiente manera.

La temperatura se controla por medio de agregar o quitar calor al aire. Por su parte la humedad relativa se controla añadiendo o extrayendo vapor de agua del ambiente, esto se realiza por medio de humidificadores o des-humidificadores.

Acorde a (ASHRAE, HANDBOOK FUNDAMENTALS Inch-Pound Edition., 2009) un humidificador es un equipo que le agrega humedad al aire. Por consecuencia un des humidificador es un equipo que absorbe humedad del aire.

La calidad de aire se puede controlar con el uso de filtros o ventilación. (Pita, 2002) Señala que es usual encontrar ambos modelos trabajando juntos para mantener una calidad del aire alta, usando filtros y ventilación para eliminar las partículas que contaminan el aire.

El aire ya tratado y en calidad aceptable debe distribuirse adecuadamente. Controlando la velocidad del aire se define el movimiento del aire y hacia donde es distribuido. Para tener este control se requiere de equipos de distribución como ventiladores, ductos y equipos de aire acondicionado.

Se dispone de modelos para climatizar espacios cerrados. A nivel mundial, muchos países presentan dos estaciones marcadas; invierno y verano, por tanto, los modelos de climatización en las normas internacionales presentan sistema de calefacción y

enfriamiento. En Costa Rica no se cuenta con ninguna estación de invierno, por lo que el sistema de calefacción, con sus excepciones no se requiere, por tanto, se considera solo el modelo para enfriamiento.

3.1.2 Ciclo de refrigeración

El principio básico del aire acondicionado corresponde al ciclo de refrigeración. La diferencia entre la refrigeración y el aire acondicionado, para Schweitzer, G. (1974), consiste en que el aire acondicionado es el control de factores que afectan las condiciones atmosféricas que rodean al hombre dentro de una estructura. Por su parte la refrigeración es, a grandes rasgos, un proceso por el cual solo el calor se elimina dentro de una estructura.

Un ciclo de refrigeración consiste en un proceso que alterna de vaporización y condensación de un líquido refrigerante para extraer calor de un recinto al exterior. Acorde a (Pita, 2002) los componentes de enfriamiento tienen mínimo los siguientes componentes:

- Una fuente de enfriamiento, esta elimina el calor del fluido (aire o agua).
- Sistema de distribución, distribución de ductos o tubería que lleven el fluido a los espacios a climatizar.
- Equipos, bombas y/o abanicos para mover el aire o agua.
- Radiadores, para generar la transferencia entre el calor del ambiente y el fluido.

Según (Tricomi, 1992), describe en la figura 3.2 un esquema de bloques de un sistema de aire acondicionado tradicional. El autor describe su funcionamiento empezando con el compresor, este sube la presión cuando lleva el refrigerante al condensador. Cuando llega a este punto, ya sea por aire o agua, se extrae el calor hacia el exterior de modo que refrigerante ceda calor y cambia de estado gaseoso a estado líquido.

Una vez que el refrigerante cambia de estado sigue por la línea líquida hacia el evaporador. En este punto, el calor del recinto se transfiere al refrigerante y esta absorbe ese calor y lo lleva directo al compresor donde se repite el ciclo.

El concepto del ciclo se mantiene, sin embargo, la eficiencia varía según el refrigerante seleccionado o el modelo empleado del condensador y la eficiencia del evaporador. Este modelo en la norma ASHRAE presenta también el sistema de calefacción, que consiste en agregar en paralelo un sistema para agregar calor al fluido, contrario a lo explicado anteriormente.

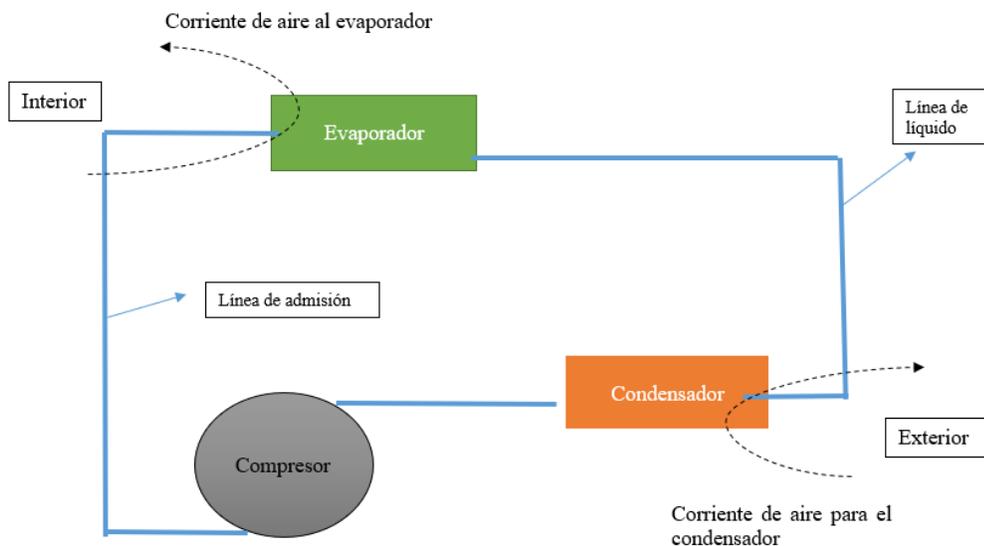


Figura 3.2. Diagrama de bloques de un sistema de aire acondicionado

Fuente: Elaboración propia con Microsoft Office Word 2010. Retomado de (Tricomi, 1992).

3.1.3 Confort humano

El cuerpo humano, como se mencionó anteriormente, presenta una pérdida de calor que se puede modelar como una razón. Esta se presenta por medio de convección, radiación y conducción. Si la razón es baja se siente calor, si esta es alta se siente frío, por tanto, valores considerables de esta razón entran en condición de confort.

Para (Pita, 2002) la razón de pérdida de calor se ve afectada por cinco condiciones:

- Temperatura del aire
- Humedad del aire
- Movimiento del aire
- Temperatura alrededor de los objetos
- Ropa

La condición de ropa se mide en unidades “clo” y mide las condiciones de la pérdida de transferencia de calor de las personas al usar diferentes ropas, estableciendo estándares de vestimenta para las condiciones de confort. La cuarta condición indica que los elementos en los recintos tienen su propia temperatura referente a su funcionamiento, este flujo de calor debe ser considerado en la carga térmica.

(Pita, 2002), en la figura 3.3, presenta una gráfica de temperatura contra humedad relativa, donde define un rango que garantiza confort para verano e invierno. Como el proyecto está ubicado en Costa Rica se desprecia el de invierno. Para diseño lo ideal para confort es mantenerse a 23°C con un 50% de humedad relativa.

Esta gráfica, acorde a (Pita, 2002), presenta las siguientes consideraciones: solo aplica a personas sedentarias o personas poco activas, las zonas de confort aplican para 0.5 clo para verano, se debe tener un movimiento de aire para verano de 30 pies por minuto (0.1524 metros por segundo). La gráfica no considera diseños diferentes a los estándares como calor por radiación debido a una ventana, por ejemplo.

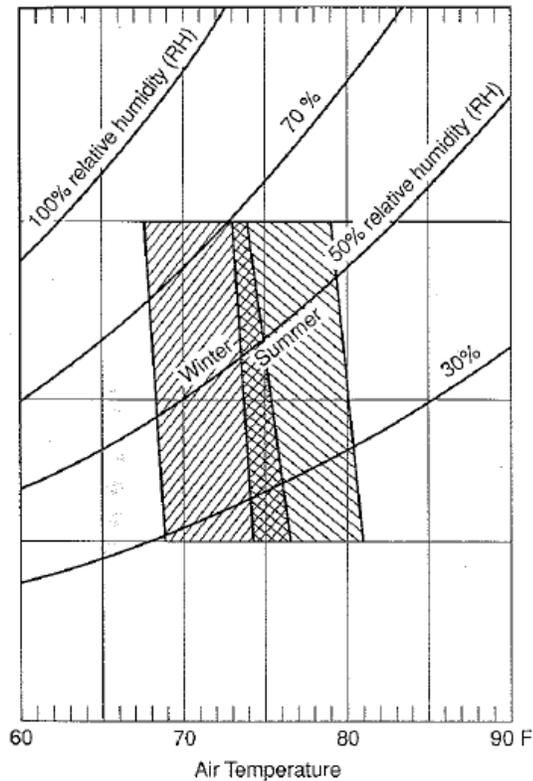


Figura 3.3. Zona de confort según temperatura de aire y humedad relativa

Fuente: (Pita, 2002)

3.2 Carga de enfriamiento

Un edificio tiene diversas fuentes de calor que afectan los valores de temperatura y humedad relativa. Dichos factores deben de mantenerse en un rango definido para garantizar la sensación de confort.

Como se mencionó en la sección anterior, en Costa Rica sólo se consideran condiciones de verano. Se debe calcular el calor que se debe extraer. Si se considerara invierno, se debería calcular también el calor a inyectar para mantener los valores de confort definidos.

El concepto consiste en que el calor generado dentro del recinto, debe ser extraído a una tasa tal que permita mantener las condiciones de diseño en el lugar. Los métodos desarrollados a continuación responden a los que recomienda (ASHRAE, HANDBOOK FUNDAMENTALS Inch-Pound Edition., 2009)

La ganancia de calor del recinto es la velocidad a la que se recibe calor. Esta ganancia, acorde a (Pita, 2002), “está constituida por partes procedentes de muchas fuentes: radiación solar, alumbrado, conducción y convección, personas, equipo, infiltración”.

Las ganancias de calor se pueden dividir en externas e internas. Según la sección anterior, el calor se puede transferir por conducción, convección o radiación. Las transferencias de calor externas serán por conducción y radiación, por su parte, las internas se deberán a convección dentro del recinto.

En la figura 3.4 se observa las ganancias de calor y de forma gráfica se puede apreciar las externas y las internas. Esta sección se dedica a explicar como realizar el cálculo para cuantificar cada una de ellas.

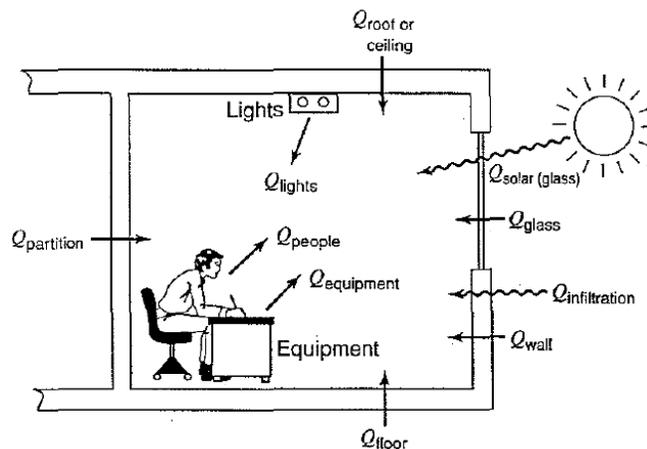


Figura 3.4. Componentes de ganancia de calor en un recinto

Fuente: (Pita, 2002).

También es importante hacer la diferencia entre las ganancias de calor latente y calor sensible. (Pita, 2002), indica que “las ganancias sensibles ocasionan un aumento de la temperatura del aire y las ganancias latentes se deben a la adición de vapor de agua, y por lo tanto aumentan la humedad”.

Conocer las cargas de calor latente y sensible es necesario para aplicaciones donde se busca controlar sólo temperatura del ambiente o sólo humedad relativa. Por ejemplo, si se busca controlar la segunda, el valor de la ganancia de calor latente es más significativa. Las ecuaciones desarrolladas en este capítulo son tomadas de (Pita, 2002).

3.2.1 Conducción a través de la estructura exterior

La ganancia de calor por conducción para paredes, techo y vidrios se calcula con la siguiente ecuación:

$$Q = U \cdot A \cdot DTCE_e$$

Ecuación 3.1. Ganancia de calor por conducción

Dónde,

Q = ganancia neta del recinto por conducción a través del techo, paredes o vidrios en BTU/h.

U = coeficiente general de transferencia de calor para el techo, paredes o vidrios en $\frac{Btu}{h \cdot ft^2 \cdot ^\circ F}$

A = Área del techo, pared o vidrios en ft^2 .

$DTCE_e$ = diferencia de temperatura para carga de enfriamiento en $^\circ F$

Los valores de transferencia de calor van a depender de los materiales que se este analizando. El coeficiente de transferencia de calor se puede encontrar en el anexo 1

se encuentra en la tabla para techos, el anexo 3 la tabla para paredes y el anexo 4 para vidrios.

El anexo 1 y el anexo 2 brindan el valor de DTCE, sin embargo, este dato debe corregirse según las consideraciones de diseño. La corrección por mes y latitud para techos y paredes se encuentra en el anexo 5.

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

Ecuación 3.2. Corrección de DTCE

Dónde,

$DTCE_e$ = Valor corregido de DTCE en °F

DTCE = Temperaturas dadas en anexo 1 para techos y anexo 2 para paredes, en °F.

LM = Factor de corrección para latitud al color y mes, en anexo 4.

K= Factor de corrección por color de superficie.

- K=1 para superficies oscuras
- K=0.5 para superficies de techos de color claros
- K=0.65 para superficies de paredes de color claros

t_R = Temperatura del recinto en °F.

t_o = Temperatura de diseño exterior promedio del recinto en °F.

f = factor de corrección para ventilación de cielo raso. (Solo para techos)

- f=0.75 para techo falso.
- f=1 para todos los demás casos.

Para vidrios el factor de corrección de DTCE es diferente al de techos y paredes. Se emplea la tabla del anexo 6 y la ecuación queda de la siguiente forma.

$$DTCE_e = DTCE + (78 - t_R) + (t_o - 85)$$

Ecuación 3.3. Factor de corrección DTCE para vidrios

3.2.2 Conducción a través de la estructura interior

Para ganancia de calor en la estructura interior se emplea la siguiente ecuación.

$$Q = U \cdot A \cdot DT$$

Ecuación 3.4. Ganancia de calor en la estructura interior

Dónde,

Q = velocidad de transferencia de calor a través de la división en BTU/h.

U = coeficiente general de transferencia de calor para el techo, paredes o vidrios en $\frac{Btu}{h \cdot ft^2 \cdot ^\circ F}$

A = Área de la división en ft^2 .

DT= diferencia de temperatura entre el espacio a acondicionar y el no acondicionado en $^\circ F$

3.2.3 Radiación solar a través de vidrios

La radiación solar se convierte en ganancia del calor cuando pasa por un vidrio. Esta ganancia va a depender de la hora, la orientación que tenga el vidrio, el sombreado, entre otros. Esta ganancia se cuantifica con la siguiente ecuación.

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

Ecuación 3.5. Ganancia por radiación solar a través del vidrio

Dónde,

Q = Ganancia neta del recinto por radiación solar a través del vidrio en BTU/h.

FGCS = Factor de ganancia máxima de calor solar en $\frac{Btu}{h \cdot ft^2}$.

A = Área del vidrio en ft^2 .

FCE = Factor de carga de enfriamiento para el vidrio.

CS = Coeficiente de sombreado.

El anexo 7 presenta la tabla para seleccionar el coeficiente de sombreado. El valor se obtiene según datos constructivos como el tipo y espesor de vidrio. También se considera el tipo de sombreado interior, que puede ser tipo veneciano, enrollable o que no tenga.

El factor FGCE, que se obtiene del anexo 8, va en función de las coordenadas y el mes en el que se desee realizar el análisis. Los valores presentados son del vigésimo primer día de cada mes.

El factor de carga de enfriamiento para el vidrio se encuentra en el anexo 9, ese se selecciona acorde a la orientación, la hora solar en estudio y el tipo de construcción. El mismo autor indica que una construcción ligera, mediana y pesada, es aquella con pared exterior de 5,08 cm (2 in), 10,16 cm (4 in) y 15,24 cm (6 in), respectivamente.

3.2.4 Alumbrado

Las distintas fuentes de luz artificial dentro del recinto se consideran como fuentes de calor y deben ser considerados dentro de la carga a enfriar. Para calcular este valor se emplea la siguiente ecuación.

$$Q = 3,4 \cdot W \cdot FB \cdot FCE$$

Ecuación 3.6. Ganancia neta del recinto por alumbrado

Dónde,

Q = Ganancia neta del recinto por el alumbrado en BTU/h.

W = Capacidad del alumbrado en W.

FB = Factor de balastro

FCE = Factor de carga de enfriamiento para el alumbrado

El autor indica que un valor de balastro para fluorescente es de 1,25. Este valor indica que se aumenta la carga de enfriamiento debido al alumbrado un 25%, si se emplean tecnologías modernas como luces LED, este factor disminuye. No obstante, para este análisis, como factor de diseño, se emplea el alumbrado como fluorescentes.

El factor de carga de enfriamiento para el alumbrado no aplica si se cumple alguna de las siguientes condiciones: El sistema funciona solo durante las horas de ocupación, el sistema trabaja más de 16 horas y si se permite la oscilación de temperatura.

3.2.5 Personas

El análisis del calor emitido por personas abarca dos conceptos, explicados la sección anterior, calor latente y sensible. Ambas cargas deben ser calculadas de forma separada.

En secciones posteriores se abarcará el concepto de un factor de corrección para cargas sensibles, por tanto, la importancia de calcular las cargas por separado. El cálculo de estas cargas se realiza a partir de las siguientes ecuaciones.

3.2.6 Carga de calor sensible

$$Q_s = q_s \cdot n \cdot FCE$$

Ecuación 3.7. Ganancia de calor sensible por personas

Dónde,

Q_s = Ganancia de calor sensible en BTU/h

q_s = Ganancia de calor sensible por persona en $\frac{Btu}{h \cdot pers}$.

n = Cantidad de personas.

FCE = Factor de carga de enfriamiento para las personas.

Carga de calor latente

$$Q_l = q_l \cdot n \cdot FCE$$

Ecuación 3.8. Ganancia de calor latente por personas

Dónde,

Q_l = Ganancia de calor latente en BTU/h

q_l = Ganancia de calor latente por persona en $\frac{Btu}{h \cdot pers}$.

FCE = Factor de carga de enfriamiento para las personas.

En el anexo 10 se puede observar que acorde a la actividad varía el valor de ganancia de calor, tanto el latente como el sensible. Esto requiere un análisis del recinto y la cantidad de personas que le van a ocupar.

El anexo 11 indica el valor para la carga de enfriamiento de persona. Se deben considerar las horas totales en que estará encendido el equipo y las horas en las que estará ocupado el lugar, para obtener el del factor de carga

3.2.7 Equipos

Cualquier equipo va a generar calor puede ser de forma latente o sensible y deben ser considerados en la carga de enfriamiento. En el anexo 12 se ve una lista de equipos y sus respectivos valores de calor sensible y latente.

Si el recinto presenta motores se debe emplear los valores acordes a la carga de calor que genere. El anexo 13 presenta una tabla de capacidades de motores y su carga calórica respectiva.

3.2.8 Infiltración

Para el cálculo de la carga a enfriar es necesario contemplar la interacción del recinto con sus alrededores. En puntos anteriores se consideró la transferencia de calor por radiación (vidrios) y conducción (techos y paredes) producida por las condiciones exteriores.

Sin embargo, existe otra carga térmica a considerar: el aire que entra o sale del recinto. El aire del exterior va a estar a una diferente temperatura a la de diseño dentro del recinto, este diferencial implica que el volumen de aire entrante se debe climatizar.

El aire que ingresa al recinto lo hace de dos formas. Por ventilación industrial, donde se manipula el flujo de aire o por infiltraciones.

(Pita, 2002) indica que la infiltración “ocurre cuando el aire exterior entra a través de aberturas en la construcción, debido a la presión del viento”. La infiltración implica una ganancia de calor extra, por tanto, debe aproximarse y sumarse en la carga final a enfriar

A continuación, se presentan las ecuaciones para el cálculo de la ganancia de calor sensible y latente debido a infiltración.

Carga de calor sensible

$$Q_s = 1,1 \cdot CFM \cdot CT$$

Ecuación 3.9. Ganancia de calor sensible por infiltración

Dónde,

Q_s = Ganancia de calor sensible en BTU/h

CFM = Velocidad de infiltración en $\frac{ft^3}{min}$.

CT = Cambio de temperatura entre el aire externo y el interno.

Carga de calor latente

$$Q_s = 0,68 \cdot CFM \cdot (W'_e - W'_i)$$

Ecuación 3.10. Ganancia de calor latente por infiltración

Dónde,

Q_s = Ganancia de calor sensible en BTU/h

CFM = Velocidad de infiltración en $\frac{ft^3}{min}$.

W'_e = Relación de humedad exterior en $\frac{g}{lb}$.

W'_i = Relación de humedad interior en $\frac{g}{lb}$.

Se debe determinar el flujo de aire total producto de la infiltración. Pita, E. G. (2002) sugiere emplear el método del cambio de aire. Consiste en tomar el valor del volumen total del recinto y multiplicarlo por un factor acorde al tipo de recinto en estudio.

Este método permite tener una aproximación acorde cuando se carece de información de detalles constructivos. En el anexo 14 se observa la tabla que especifica los diferentes factores de ajuste para el cálculo del cambio de aire producido por infiltración.

La siguiente ecuación define el cálculo de los cambios de aire requeridos para sustituir en las ecuaciones 3.9 y 3.10, para poder obtener la carga térmica producto de la infiltración.

$$CFM = C.A. \cdot \frac{V}{60}$$

Ecuación 3.11. Tasa de infiltración de aire

Dónde,

CFM = Tasa de infiltración en $\frac{ft^3}{min}$.

C.A. = Número de cambios de aire por hora dado en el anexo 14.

V = Volumén del recinto en ft^3

3.2.9 Factor de corrección de carga sensible

Pita, E. G. (2002), indica que parte de la carga sensible producida dentro del recinto se transfiere a los alrededores, por tanto, se debe corregir el valor de la carga sensible en el recinto.

Este apartado indica que no toda la carga sensible se mantiene contenida en el recinto, es decir, un porcentaje de este calor se transfiere a los alrededores de modo que la carga a enfriar es menor.

Se presentan las ecuaciones para calcular el valor del factor de corrección para cada ganancia de calor sensible dentro del recinto.

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

Ecuación 3.12. Factor para corregir ganancia de calor sensible en el recinto

Dónde,

F_c = Factor para corregir cada ganancia de calor sensible en el recinto

K = Conductancia de la unidad de longitud en $\frac{BTU}{h \cdot ft \cdot ^\circ F}$

L = Longitud de la pared exterior en ft

Cálculo de la conductancia.

$$K = \frac{(U_p A_p + U_v A_v)}{L}$$

Ecuación 3.13. Conductancia de la unidad de longitud

Dónde,

K = Conductancia de la unidad de longitud en $\frac{BTU}{h \cdot ft \cdot ^\circ F}$

L = Longitud de la pared exterior en ft

U_p = Coeficientes de transferencia de calor de la pared en $\frac{Btu}{h \cdot ft^2 \cdot ^\circ F}$.

A_p = Área de la pared en ft^2

U_v = Coeficientes de transferencia de calor del vidrio en $\frac{Btu}{h \cdot ft^2 \cdot ^\circ F}$.

A_v = Área del vidrio en ft^2

Para la transferencia de calor a los ductos, en caso de que se requieran, se considera un aumento de un cinco por ciento de la carga total de enfriamiento.

3.3 Aplicaciones

Las consideraciones descritas en las secciones anteriores son de carácter general. Para aplicaciones no residenciales se debe verificar si dichas consideraciones aún son válidas. Para estos casos la norma desarrolla literatura para aplicaciones especiales en sistemas de aire acondicionado y ventilación.

Para la literatura ASHRAE en el tomo de aplicaciones se desarrollan modelos complementarios. Para alcance de este informe se desarrolla del capítulo de cuartos limpios y de laboratorios para definir aspectos necesarios para el diseño.

3.3.1 Cuartos limpios

El capítulo de cuartos de limpios aporta el concepto de presión positiva o negativa en un recinto. Cuando la presión es positiva el recinto se presuriza y si la presión es negativa, entonces el recinto, se despresuriza.

(ASHRAE, HANDBOOK HVAC APPLICATIONS. Chapter 16: Clean Spaces., 2007), define que hay presurización cuando la tasa de flujo de aire entrando (suministro) es mayor a la tasa de flujo de aire saliendo (retorno o extracción) del recinto; cuando se presenta flujo de aire hacia afuera del recinto se considera presión positiva. Cuando el flujo va en sentido contrario consiste en despresurización.

En cuartos limpios la presión positiva es importante para mantener los niveles de limpiezas dentro del recinto. Como se explicó en secciones anteriores, el flujo de aire exterior que entra o sale de un recinto, de forma natural, se realiza por medio de infiltraciones.

La presión positiva genera que el flujo de aire que pasa por estas infiltraciones tienda de adentro del recinto hacia los alrededores. De forma tal, que los contaminantes del aire exterior no ingresen al lugar y comprometan la calidad de aire previamente establecida.

Para lograr una presión positiva es necesario conocer el área de infiltraciones, es decir, los espacios por los cuales se pueden presentar incursiones de aires exteriores. Este valor se puede obtener de las rejillas en las puertas y ventanas.

Se debe definir el valor de presión positiva del recinto, junto al dato del área de infiltración se emplea la gráfica del anexo 17, esta gráfica brinda el valor de caudal extra que se debe inyectar para mantener la presión del recinto positiva.

La presión positiva es necesaria en laboratorios para poder mantener condiciones de una calidad de aire limpio de forma tal que no afecte el resultado de las tareas realizadas.

3.3.2 Laboratorios

Los parámetros más significativos para un laboratorio, acorde a (ASHRAE, HANDBOOK HVAC APPLICATIONS. Chapter 14: LABORATORIES. SI Edition., 2007) Son la temperatura y humedad interna y externa. Estos son datos de diseño y la selección de equipos se hace en función de brindar dichas condiciones.

Para aplicaciones de laboratorio se deben de considerar otras variables. El autor hace énfasis en la calidad del aire que deba tener el laboratorio, esto se realiza mediante el uso de filtros en la inyección de aire.

Es usual encontrar laboratorios campanas de extracción que están ubicadas en diferentes bancos de trabajo. Indiferentemente el tipo de campanas tienen una tasa de extracción de aire para efectos de su correcto funcionamiento.

Para alcances de este informe la tasa de extracción de aire será dada como criterio de diseño, sin embargo, las campanas quedan excluidas. Propio de los laboratorios, el autor indica que la velocidad de inyección de aire debe ser al menos la mitad de la velocidad de extracción de la campana, de forma contraria la campana no cumple su

labor. Esto implica que la inyección de aire en un laboratorio debe hacerse a baja velocidad.

La ventilación en un laboratorio también tiene consideraciones especiales, (ASHRAE, HANDBOOK HVAC APPLICATIONS. Chapter 14: LABORATORIES. SI Edition., 2007) Indica que la tasa de ventilación se define por el total de aire extraído a través de las campanas dentro del laboratorio.

Debido a que la calidad de aire es un factor determinante en un laboratorio y acorde a lo desarrollado en esta sección, solo se puede tener presión positiva. Evitar que entren contaminantes al área de laboratorio se logra con filtro en la inyección de aire y con presión positiva para tema de infiltración.

Entonces, para el cálculo del inyector se debe considerar el caudal a extraer por las campanas y adicionar el caudal requerido para tener un valor puntual de presión positiva.

3.4 Ventilación Industrial

La ventilación consiste, acorde a Pita, E. G. (2002), en la inyección de aire exterior o extracción del aire del recinto de forma mecánica por un ventilador. Acorde a su aplicación, el ventilador, recibe el nombre de extractor o inyector.

A diferencia de un sistema de aire acondicionado, la ventilación no controla la temperatura o la humedad del aire, pero sí su velocidad y movimiento. El aire exterior que se inyecta al recinto, acorde a Pita, E. G. (2002), tiene usualmente una tasa de calor sensible y latente mayor que el aire dentro del recinto.

Si el sistema de ventilación trabaja de forma complementaria al sistema de aire acondicionado, se debe considerar esta carga dentro de la carga de enfriamiento total y debe calcularse. Sin embargo, si el sistema de ventilación trabaja independiente, solo se consideran los factores propios de su diseño y no su carga térmica.

La carga considerada a enfriar en aplica solo en sistemas combinados donde a un sistema de aire acondicionado se le inyecta un caudal y este debe ser llevado a las condiciones de diseño.

Los modelos de ventilación se desarrollan definiendo ventilador a utilizar, el caudal que emplea el sistema y la distribución del aire. Para la calidad de aire dentro del recinto se emplean filtros en la inyección de aire.

3.4.1 Tipos de ventiladores

Acorde a Pita, E. G. (2002), los ventiladores se pueden clasificar en centrífugos y de flujo axial. La diferencia se presenta debido al recorrido del aire. En los centrífugos el aire se mueve por una carcasa y sale de forma radial al eje del ventilador. Por su parte los axiales el aire sale a lo largo del eje del ventilador.

Los ventiladores centrífugos, acorde al mismo autor, se clasifican en curvados hacia atrás (doble espesor se llaman hoja de aire), radiales, curvados hacia adelante e inclinados hacia atrás. En la figura 3.5 se puede observar los distintos tipos de ventilador centrífugos.

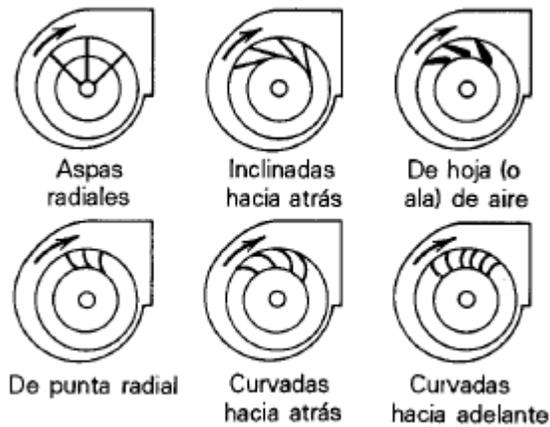


Figura 3.5. Tipos de ventiladores centrífugos

Fuente: Pita, E. G. (2002) Capítulo 10

Los ventiladores axiales se dividen en tipo hélice, turbo-axial y aspas axiales. Acorde a Pita, E. G. (2002), el tipo hélice va montado sobre una placa o anillo. El turbo-axial va encerrado en un cilindro que canaliza el fluido. Por último, aspas axiales funciona igual que el turbo-axial, con la diferencia de que tiene unas aspas para controlar el comportamiento del fluido. En la figura 3.6 se puede observar la representación de estos equipos.

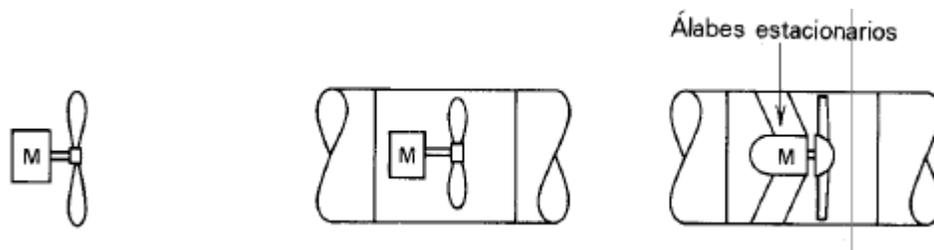


Figura 3.6. Tipos de ventiladores axiales

Fuente: Pita, E. G. (2002) Capítulo 10

3.4.2 Tasa de ventilación

La ventilación consiste en el movimiento mecánico de aire y se presenta como una tasa de volumen de aire en movimiento por unidad de tiempo, usualmente dado en

metros cúbicos por hora, para el sistema internacional y en pie cubico por minuto en sistema inglés.

La cantidad de aire que cambia en el transcurso de un tiempo establecido varía acorde a la aplicación del recinto. La norma (ASHRAE, POCKET GUIDE for air conditioning, Heating, Ventilation, Refrigeration (SI Edition)- Edición en Castellano, 2007) define que debe existir un valor máximo y uno mínimo de cambios permitidos por cada aplicación.

Para el cálculo de los cambios de aire requeridos se emplea el anexo 15 que, para aplicaciones residenciales, brinda los valores máximos y mínimos de cambios de volumen de aire por unidad de tiempo según la aplicación del recinto.

Los fabricantes de equipos de ventilación han desarrollado su propia literatura y respetando la norma mencionada brindan una lista de aplicaciones con rangos más específicos y acordes para un correcto funcionamiento. Como referencia se emplea el anexo 16 que corresponde a la lista de cambios presentados por el fabricante Green Heck.

Para obtener la tasa de ventilación se aplica divide el volumen del recinto a acondicionar entre los cambios recomendados. De ambos valores, máximos y mínimos, se escoge un valor intermedio acorde a la aplicación del recinto.

El resultado determina el aire a inyectar o a extraer del recinto. Este valor se emplea en la selección del ventilador y en el diseño de los ductos que distribuyen el aire.

3.4.3 Diseño de ductos

En diseño de aire acondicionado se puede distribuir el aire a inyectar o extraer de un recinto empleando ductos. Usualmente fabricados en hierro galvanizado, pero se pueden construir en otros materiales como poliuretano expandido o fibra de vidrio.

Los ductos se construyen de forma circular, cuadrada o rectangular. Su selección de dimensiones depende de factores como caudal, velocidad y pérdida de presión. El fluido se conduce a través del ducto, por lo que, una correcta selección implica una correcta manipulación del aire.

Una vez que se conoce el valor de flujo de aire en el ducto se debe trazar una ruta crítica. Esta ruta es la distancia más larga, con mayor cantidad de accesorios y que transporte la mayor cantidad de caudal. Queda a criterio del diseñador seleccionar esta ruta.

Para todos los tramos o desviaciones de sistema de distribución de aire se debe contemplar una caída de presión constante. (ASHRAE, HANDBOOK FUNDAMENTALS Inch-Pound Edition., 2009) Presenta una gráfica, ver anexo 18, para ductos de hierro galvanizado. Esta grafica relaciona las variables de caudal, velocidad, caída de presión y diámetro del ducto.

Para la velocidad el aire, Pita, E. G. (2002), define una serie de valores para sistema de acondicionamiento a bajas velocidades. En el anexo 22 se puede observar la tabla donde define la velocidad acorde para componentes del sistema acorde a la aplicación requerida.

Para poder obtener el valor del ducto aún se requiere definir el valor de la caída de presión. Este dato debe ser contante en tramos rectos y es definido por el diseñador. Por tanto, se debe definir un valor, por ejemplo, se puede definir el valor de la caída

de presión a $0,8172 \frac{Pa}{m} \left(\frac{0,1 \text{ in c.d.a.}}{100 \text{ ft}} \right)$. Para calcular la caída de presión en el tramo recto se multiplica los metros lineales por el valor definido. Ver anexo 18.

Con las variables de caudal, velocidad y caída de presión se puede emplear la gráfica de caída de presión y determinar el diámetro del ducto. Si el ducto a emplear es circular, este valor obtenido es el tamaño del ducto. Sin embargo, para ductos rectangulares (ASHRAE, HANDBOOK FUNDAMENTALS Inch-Pound Edition., 2009) define una tabla de equivalencia.

En el anexo 19 se observa la tabla de equivalencia, en una columna se presentan los valores para un lado del rectángulo (a) y en la primera fila los valores de otro lado el rectángulo (b). Para reducciones es recomendable mantener un lado del rectángulo del mismo tamaño y variar el otro.

Para ductos de materiales como poliuretano expandido, los fabricantes como P3Ductal presentan las mismas gráficas y tablas. En el Anexo 20 y 21 se puede observar estos datos, el procedimiento de cálculo es el mismo que para hierro galvanizado descrito anteriormente.

Los accesorios, mencionados anteriormente, consisten en todo aquella configuración que no sea un tramo recto. Es decir, en el recorrido del ducto se pueden presentar codos, derivaciones, desviaciones, rejillas y difusores. Estos componentes son considerados como accesorios y su caída de presión se debe calcular por separado.

Acorde a Pita, E. G. (2002), la caída de presión en accesorios se calcula con la siguiente ecuación:

$$H_f = 248,84 \cdot C \cdot \left(\frac{V}{4000} \right)^2$$

Ecuación 3.14. Pérdida total de la presión a través de un accesorio

Dónde,

H_f = Pérdida total de presión a través de un accesorio en Pa.

C = Coeficiente de pérdida en accesorio.

V = Velocidad del aire en $\frac{ft}{min}$

En el anexo 23 se pueden observar diferentes configuraciones de accesorios para ductos. Se cuenta con accesorios para ducto circular y ducto rectangular.

Para el cálculo de la caída total de presión en el ducto, se debe sumar la caída en tramos rectos y la caída en los accesorios. Para la selección de un ventilador se debe determinar la caída de presión de la ruta crítica y el caudal total del sistema.

3.5 Sistemas de aire acondicionado

Los equipos de aire acondicionado deben satisfacer una necesidad. Al implementar una solución, la satisfacción del usuario final dependerá de que se realice una correcta selección de los equipos.

El acondicionar el aire de un recinto, acorde a (Carrier, Manual de aire acondicionado, 1999): “proporciona un ambiente de temperatura, humedad, movimiento de aire, limpieza y condiciones acústicas”. Indicando que no es suficiente considerar la regulación de temperatura para acondicionar un recinto. Sin embargo, primero se debe obtener el valor de carga térmica y determinar las capacidades de los equipos a utilizar.

Cuando el lugar a acondicionar está en etapa de proyecto se pueden realizar variaciones para reducir el valor inicial de carga térmica calculada. No obstante, cuando el recinto está construido o el proyecto no permite variaciones, la selección de equipos debe limitarse al valor inicial de carga térmica.

Una vez definida la carga de enfriamiento se procede a seleccionar que tipo de equipo es el más acorde para implementar. Para esta selección se consideran factores estructural, arquitectónicos, de estética y de funcionalidad; siempre respetando las condiciones de diseño establecidas.

3.5.1 Fundamentos

Según (Carrier, Manual de aire acondicionado, 1999), existen cuatro tipos básicos de sistemas para acondicionar un recinto: sistemas de expansión directa, sistemas todo agua, sistemas todo aire y sistemas mixto aire-agua. Para efectos de este informe se desarrolla el sistema de expansión directa.

Un sistema de expansión directa, acorde al mismo autor, solo debe emplearse en instalaciones de pequeña y mediana potencia, Estos sistemas trabajan con un refrigerante que pasa por dos equipos: condensadora y evaporadora.

El refrigerante hace un recorrido definido a través de una tubería por los componentes básicos del sistema. En el transcurso de su trayectoria presenta cambios de estado de forma tal que transfiere el calor del recinto hacia el exterior. Esto responde a un sistema de refrigeración por compresión de vapor.

Pita, E. G. (2002), Explica este proceso en cuatro etapas ejemplificadas en la figura 3.7. El primer proceso empieza cuando el refrigerante se encuentra en estado líquido

a una alta temperatura y presión. Posteriormente, el refrigerante pasa a través de una válvula de expansión, también conocido como dispositivo de control de flujo.

En la primera etapa la válvula de expansión hace que el refrigerante pierda presión y evapore parte del fluido. Esto ocasiona que la parte líquida ceda calor a la parte gaseosa y el refrigerante disminuya su temperatura, es decir, el refrigerante se enfría.

Una vez que el refrigerante alcanza una baja temperatura, pasa a una segunda etapa. El refrigerante ingresa a un intercambiador de calor conocido como evaporador o manejadora. Este componente funciona con dos fluidos, el refrigerante y el fluido a enfriar. Este sistema emplea de fluido el aire del recinto.

El fluido entra al intercambiador a una temperatura menor a la del fluido a enfriar. Por tanto, se produce la transferencia de calor del fluido al refrigerante, extrayendo así el calor del recinto a acondicionar.

Debido a que el refrigerante recibe calor durante el intercambio de calor, este cambia de estado de líquido a gaseoso y al salir de la manejadora entra a la etapa tres del proceso. En este punto el gas está a baja temperatura y a baja presión.

El refrigerante, para entrar de nuevo al evaporador, debe estar a alta presión y en estado líquido. Por tanto, antes de recircular el fluido se debe re-establecer sus condiciones. En esta etapa, mediante el uso de un compresor, se eleva la presión del refrigerante y por consecuencia su temperatura.

En la cuarta etapa el refrigerante debe, además de tener alta presión, debe estar en estado líquido. Para ello el gas que sale del compresor atraviesa un intercambiador de calor. El refrigerante para cambiar de estado de gaseoso a líquido debe perder temperatura.

El intercambiador, al igual que el evaporador, consiste en dos circuitos. El primero con el gas refrigerante y el segundo de aire exterior impulsado mediante un ventilador. El aire que ingresa en el condensador está a menor temperatura que el gas refrigerante y produce un intercambio de calor. Una vez que refrigerante vuelve a su estado inicial, el sistema está preparado para empezar de nuevo.

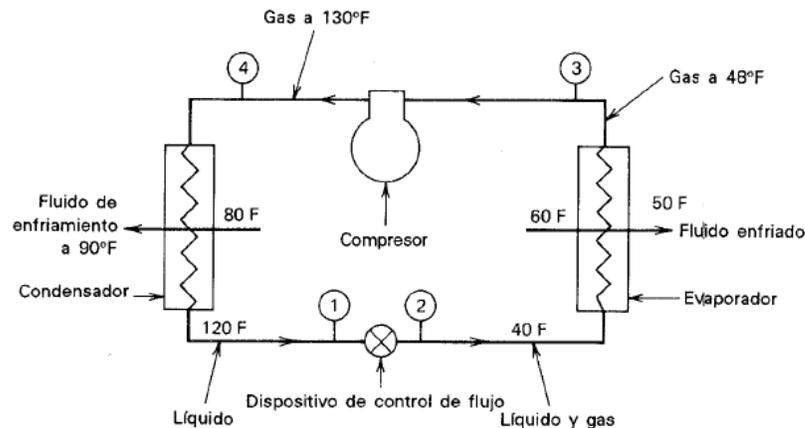


Figura 3.7. Sistema de refrigeración por compresión de vapor

Fuente: Pita, E. G. (2002). Capítulo 13

3.5.2 Componentes de un sistema de aire acondicionado

Los equipos que componen un sistema de aire, según Pita, E. G. (2002), son el compresor, el evaporador, el condensador y el dispositivo de control de flujo.

3.5.2.1 Evaporadores

Un evaporador es el elemento donde se produce el intercambio de calor entre el fluido refrigerante y el fluido a acondicionar. Acorde a Pita, E. G. (2002), se pueden clasificar en dos tipos: evaporadores de expansión seca o directa y evaporadores inundados.

Acorde al mismo autor, los evaporadores de expansión se clasifican según el fluido que vayan a enfriar. Si el fluido es aire se conocen como serpentines de enfriamiento de expansión seca, en caso de que el fluido sea agua se conocen como enfriadoras de expansión seca.

Los evaporadores inundados se conocen como enfriadoras inundadas y la diferencia que tienen con las enfriadoras de expansión seca consiste en la disposición del refrigerante. En los evaporadores de expansión seca se dispone el refrigerante en tuberías y el aire pasa a través de estas. En el caso de las inundadas, es la configuración inversa. El lugar donde se contiene el refrigerante se conoce como coraza del evaporador.

3.5.2.2 Compresores

Los sistemas de aire acondicionado, mencionados anteriormente, emplean compresor de desplazamiento positivo. Acorde a (Pita, 2002): “trabajan reduciendo el volumen de un gas en el espacio confinado y con ello aumenta su temperatura”.

Los compresores se pueden clasificar en: reciprocantes, rotatorios, de tornillo y tipo scroll. Todos ellos son de desplazamiento positivo. Los equipos scroll y rotatorios son comúnmente empleados en sistemas de aire acondicionado de pequeña y mediana potencia.

3.5.2.3 Condensadores

El condensador, según (Pita, 2002), “elimina del sistema la energía ganada en el evaporador y el compresor. El aire atmosférico o agua son los sumideros de calor más convenientes para desecharlo”.

Acorde al mismo autor, existen tres tipos de condensadores: enfriado por aire, enfriado por agua y condensador evaporativo. Los condensadores empleados en este informe serán enfriados por aire.

El condensador enfriado por aire presenta un intercambiador de calor que circula refrigerante por un serpentín y hace pasar el aire a través de la tubería. El aire se mueve hacia el serpentín por medio de un ventilador que aumenta la tasa de contacto entre el serpentín y el aire exterior mejorando la transferencia de calor.

Los condensadores enfriados por aire controlan la transferencia de calor mediante la variación de la frecuencia del ventilador. Acorde a (Pita, 2002), “el control responde en general a cambios de presión de condensación”.

3.5.2.4 Dispositivos para control de flujo

Antes de que el refrigerante entre al evaporador requiere una expansión para disminuir su temperatura. La expansión debe darse para que la temperatura del refrigerante sea menor que la del aire del recinto.

Para los evaporadores secos, acorde a (Pita, 2002), existen dos tipos de dispositivo: tubo capilar y la válvula termostática de expansión. El primer dispositivo, para el mismo autor, “es un tubo de diámetro muy pequeño y longitud considerable, que con ello origina la caída de presión necesaria”.

El control de flujo por tubo capilar se emplea para unidades pequeñas tales como refrigeradores domésticos, es decir, no para sistemas industriales de aire acondicionado. En el alcance de este informe, los equipos empleados en el diseño usan válvula termostática de expansión.

Esta válvula tiene la facilidad de poder regular la presión y responder acorde a la temperatura del refrigerante. La función crucial de la válvula consiste en que el refrigerante entre al compresor en estado gaseoso.

En la figura 3.8 se puede observar el corte de una válvula de expansión. Acorde a Pita, E. G. (2002) “la pequeña abertura entre el asiento de la válvula y el disco origina la caída de presión necesaria. También efectúa un excelente trabajo de regulación de flujo, de acuerdo con las necesidades”.

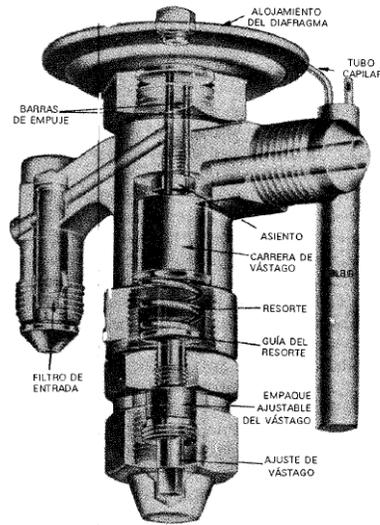


Figura 3.8. Corte de una válvula termostática de expansión

Fuente: Pita, E. G. (2002),.

3.5.3 Equipos de aire acondicionado para confort

La demanda de equipos de aire acondicionado ofrece a los proveedores la oportunidad de brindar múltiples soluciones a las necesidades que presenta la industria. Una vez

estudiado el concepto de funcionamiento de los equipos de aire acondicionado se puede desarrollar el método de selección de equipos.

Se encuentran modelos “paquetes”, donde la manejadora y condensadora están juntas. Sin embargo, para este informe se desarrollan equipos en formato de sistemas separados (Split).

En esta presentación la manejadora se encuentra en los interiores del edificio y la condensadora en el exterior. Ambos equipos se comunican por tuberías de refrigerante. En estos modelos la condensadora es de descarga de aire vertical u horizontal.

Por su parte, las evaporadoras presentan diferentes formatos de trabajo. Dependiendo de las condiciones constructivas un modelo se va a adaptar más que otro. Por ejemplo, existen soluciones que emplea ductos para suministro y retorno de aire. El aire que ingresa al evaporador consiste en el retorno y el aire enfriado en suministro. Los demás equipos realizan la recirculación de aire en el lugar.

Los equipos Split que no requieren de ducto, pueden ser tipo: cassettes, pared alta o piso cielo. Para este informe se desarrollan equipos “cassette”.

3.5.3.1 Equipos cassette

Estos equipos, en específico, se colocan a nivel de cielo raso y tienen el retorno en el centro del equipo, de forma tal que el suministro se realiza en los extremos. Este suministro puede ser de dos vías, cuatro vías o circular.

En la figura 3.9 se observa un equipo cassette. En la figura se puede observar también la modalidad de flujo circular como opción para una mejor distribución de aire. Todos los equipos responden a una capacidad de enfriamiento definida por el proveedor.

Es decir, el valor de carga térmica calculado por el diseñador se debe de adaptar a la oferta del mercado. Los equipos varían de capacidad y usualmente son equipos para recintos pequeños como oficinas o afines.

La configuración para equipos Split es de uno a uno, es decir, una condensadora por cada evaporadora. Existen modelos multi-split y de volumen de refrigerante variable como variantes para sistemas de mayor capacidad.



Figura 3.9. Manejadora tipo cassette flujo circular

Fuente: (DAIKIN, 2017)

3.5.3.2 Equipos de volumen de flujo variable

Los equipos tipo Split se emplean para recintos pequeños. Normalmente un edificio presenta numerosos recintos a acondicionar y de emplear estos equipos implica emplear una condensadora y evaporadora por recinto.

Para evitar el exceso de equipos, las manejadoras con ductos tienen a emplearse para acondicionar varios recintos. Se suma la carga térmica total y un solo equipo suministra el enfriamiento. No obstante, es usual encontrar edificaciones grandes y con la carga térmica variable debido su particular aplicación.

Los equipos de control de flujo variable de refrigerante presentan una solución práctica para grandes cargas. El modelo se compone de una condensadora y varias evaporadoras.

Los equipos de volumen de refrigerante variable (VRV) es una patente de la marca DAIKIN, los demás fabricantes le conocen como flujo de refrigerante variable (VRF).

El sistema consiste en varias evaporadoras conectadas por una tubería a una condensadora que contempla la carga total de los equipos. Acorde a (DAIKIN, 2017), la condensadora brinda la cantidad necesaria de refrigerante acorde a la carga térmica requerida en ese momento.

Es decir, los equipos funcionan a la carga requerida y no su completa capacidad todo el tiempo, lo que se implica un menor consumo eléctrico y uso de espacio. Los equipos VRV, acorde a (DAIKIN, 2017), pueden conectar hasta sesenta y seis equipos por condensadora, lo que los hace ideal para edificios con muchos recintos pequeños que requieren equipos Split.

3.5.4 Equipos de aire acondicionado para precisión

Los equipos de precisión deben mantener en rangos definidos de temperatura y humedad. La variación de los valores de estos factores definirá que tan preciso es el equipo.

Tanto el control de la temperatura, por medio del intercambiador de calor, como la humedad deben mantenerse constante. En casos donde la carga térmica fluctuó, el sistema debe adaptarse para asegurarse de mantener las condiciones deseadas.

A diferencia de los equipos para confort descritos anteriormente, los equipos de precisión si poseen control de la humedad. Esto se realiza por medio de humidificadores y des humidificadores. El sistema de precisión emplea un equipo u el otro según corresponda para mantener la humedad en el punto establecido.

Un sistema de precisión regula primero la temperatura de diseño y posteriormente, regula su humedad. Esto se realiza por medio de un sistema de control, que recibe información de una serie de sensores, para evitar variaciones en los valores de diseño de temperatura y humedad relativa.

3.5.5 Rueda desecante

La rueda desecante es equipo para controlar la humedad relativa en un recinto y presenta una alternativa para control de precisión. Este equipo emplea un método directo de control de humedad.

Como su nombre lo indica, la rueda deseca el aire, es decir le quita su humedad. Es un equipo ideal para ambientes húmedos que deban disminuir su porcentaje de humedad relativa a valores constantes con alta precisión.

Según (Bry-Air, 2010), fabricante de estos equipos, la rueda es un sistema que emplea un rotor sintetizado desecante de silicato metálico. Donde este rotor presenta dos sectores: des-humificación y reactivación.

El aire a perder humedad entra al primer sector donde su humedad es absorbida por el rotor desecante. Inmediatamente, el rotor pasa a la zona de reactivación donde un flujo de aire caliente genera un intercambio absorbiendo la humedad. Es decir, el rotor está de nuevo en condiciones de quitar humedad.

Como se observa en la figura 3.10, los flujos, el aire a acondicionar como el aire para reactivar la rueda, no se mezclan. Sin embargo, ambos procesos, el de des-humificar y el de reactivar la rueda, ocurren de forma simultánea.

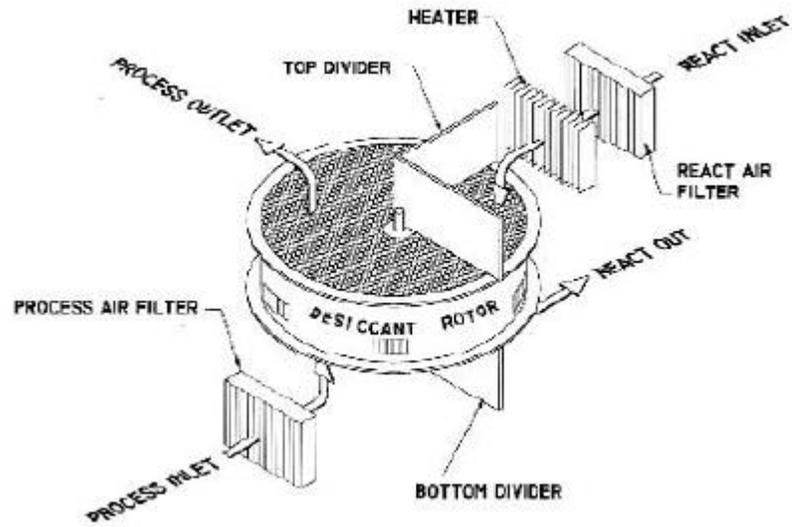


Figura 3.10. Diagrama de una rueda desecante

Fuente: (Bry-Air, 2010)

Capítulo 4. Propuesta de diseño

Los edificios en diseño requieren implementación de un sistema de aire acondicionado y/o de ventilación. Si bien cada edificio presenta una condición diferente, en este apartado se trabajan las soluciones por sistema.

Se desarrolla la propuesta de diseño en aire acondicionado, donde se realiza la diferencia entre el sistema de confort y el de precisión. Seguidamente, se presenta la propuesta del diseño de ventilación.

Para el diseño de aire acondicionado se muestran los resultados de la carga de enfriamiento. Se realiza el mismo procedimiento para la carga de ventilación.

Se requiere conocer las condiciones externas del lugar de poder calcular las cargas de enfriamiento. El diseño por desarrollar se ubica en Ochomogo, Cartago. En este lugar el Instituto Meteorológico Nacional (IMN) dispone de una estación de meteorológica que mide, para efectos de este informe, el porcentaje de humedad relativa y temperatura del lugar.

Para definir los valores de humedad relativa y temperatura del lugar se debe obtener un valor significativo de un rango de tiempo prolongado de forma tal que el valor sea válido para el diseño.

En el anexo 24 se observa la tabla dada por el IMN de los datos históricos de la estación de Ochomogo. Acorde a esta tabla se toma la decisión de asumir los valores de 90,3 para el porcentaje de humedad relativa y 23,4°C de temperatura. Se determinan estos valores debido a que son los más críticos y representan los máximos que el diseño debe solventar.

Los valores seleccionados permiten que el sistema sea diseñado de forma tal que en un día muy caliente o con condiciones adversas, el usuario se mantenga satisfecho con el desempeño del diseño.

Una vez definido los valores de entrada, usando la tabla psico-métrica, se definen las condiciones para realizar el cálculo de carga de enfriamiento. Se debe obtener la relación de humedad. En la figura 4.1 se observa el procedimiento para obtener dicho valor.

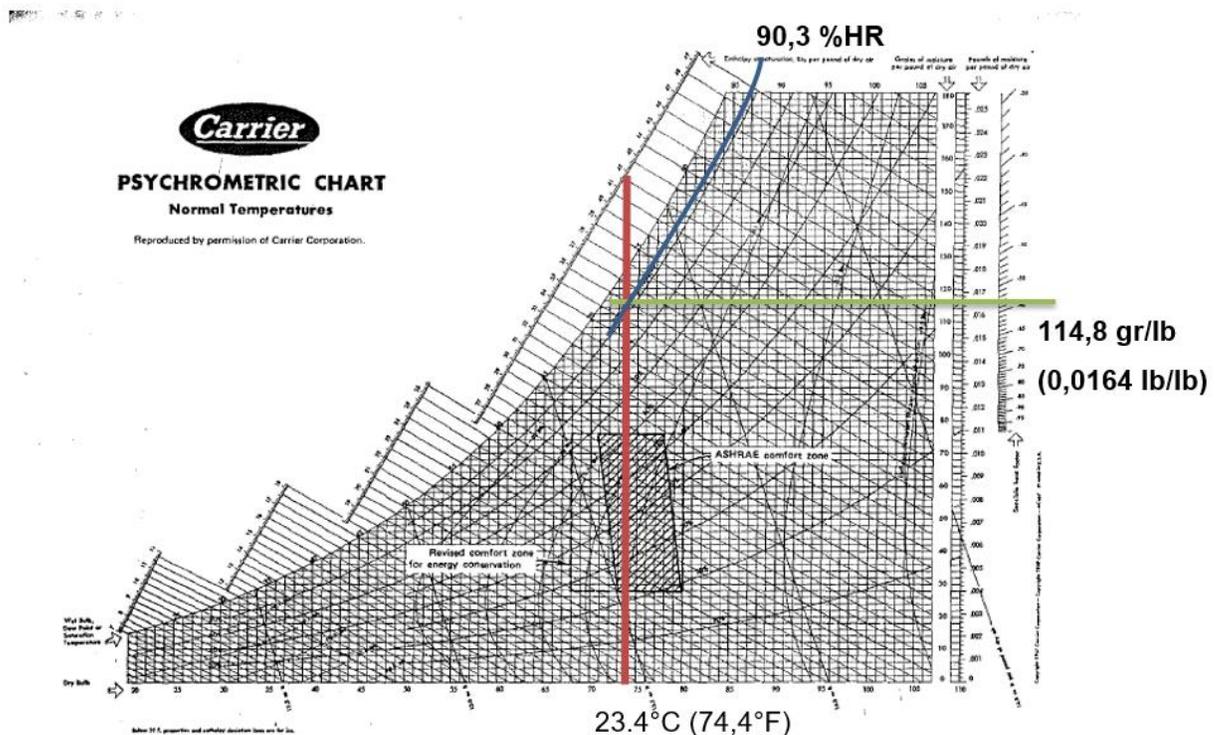


Figura 4.1. Análisis psico-métrico para Ochomogo, Cartago

Fuente: (Carrier, Handbook of Air Conditioning System Design, N.I.)

Análisis: Elaboración propia

Una vez empleada la carta psico-métrica, se resumen los valores de diseño en la tabla 4.1. Con estos datos se realizan los cálculos correspondientes para la carga de enfriamiento.

Tabla 4.1. Valores psicro-métricos para Ochomogo, Cartago

| Ubicación | Temperatura BS | Temperatura Bh | HR | Relación de humedad | |
|-------------------|----------------|----------------|------|---------------------|---------|
| | (°C) | (°C) | (%) | (lbh/lba.s.) | (gr/lb) |
| Ochomogo, Cartago | 23,4 | 22,78 | 90,3 | 0,0164 | 114,8 |

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

Las condiciones de diseño para los recintos con aire acondicionado es de 25°C y de 50% HR. Para los recintos que requieren sistemas de precisión se definen valores de 20°C y de 50% HR. Estos datos son datos de entrada para el cálculo de carga de enfriamiento.

4.1 Cálculo de carga de enfriamiento

La carga de enfriamiento se calcula acorde a la teoría descrita en el capítulo 3 de este informe y se desarrolla mediante el uso de una plantilla desarrollada en el software Microsoft Excel y se puede observar en el apéndice 1. Se consideran todos los aspectos necesarios para obtener el valor de carga de enfriamiento correcta.

En esta sección se presentan los resultados del cálculo de carga de enfriamiento para los recintos de octanaje y laboratorio general, ambos propios del edificio laboratorio de control de calidad. Para estos recintos se presenta el desglose de carga y se desarrollan las consideraciones de diseño.

Al no disponer de información detallada respecto a los recintos, es decir, información técnica de equipos a usar o condiciones de trabajo. Se debe de realizar una selección de equipo que garantice al usuario confort o precisión, según lo requiera.

4.1.1 Laboratorio general

En la tabla 4.3 se presenta el desglose de la carga de enfriamiento para el laboratorio general del edificio de control de calidad. Este recinto, como se indica en el apéndice 3, se caracteriza por tener un área significativa que va a elevar el valor de carga de enfriamiento ocasionada por techos e iluminación.

En la tabla se indica que la aplicación del recinto es de laboratorio, lo que implica que va a tener equipos como mecheros, además de una cantidad de significativa de personas que aumenta la carga de enfriamiento.

El gráfico 4.1 indica que la transferencia de calor generada por techos es la que aporta mayor valor a la carga de enfriamiento en un 53%, seguido por el estimado en calor generado por los equipos de un 20%, posteriormente, la carga de iluminación representa un 9% del total.

Se puede disminuir la carga de enfriamiento empleando luminarias más eficientes o equipos que emitan menos calor, ya que el valor ocasionado por techos se presenta como invariable. Para el cálculo no se considera infiltración, el laboratorio se diseña para presión positiva, es decir, carece de la misma.

Debido a que el valor de carga es mayor a los 80 000 BTU/h, se diseña con varias manejadoras de menor capacidad. Esto con el fin de realizar una mejor distribución del acondicionamiento del aire en el recinto.

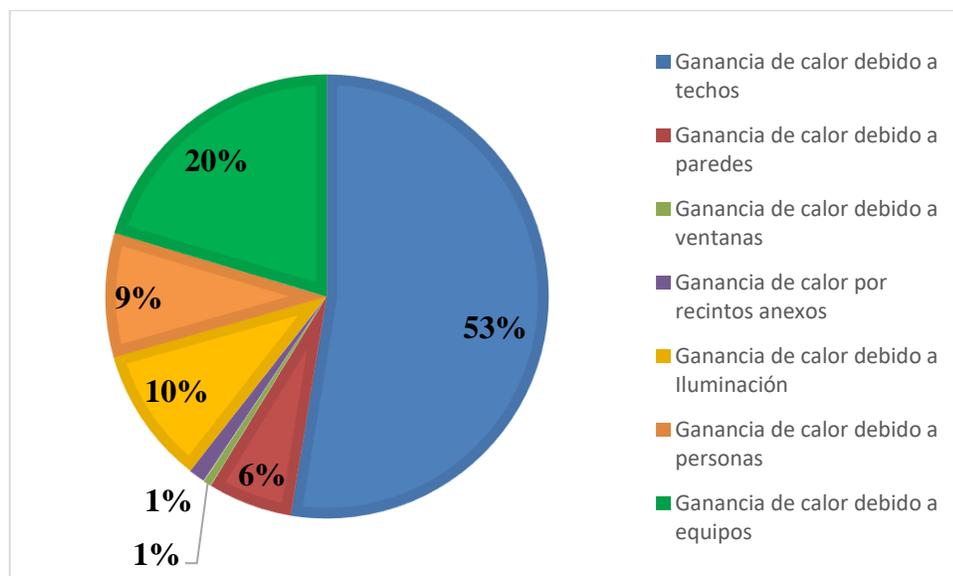
Tabla 4.2. Resumen carga de enfriamiento para el recinto: Laboratorio General

| Resumen de Carga de Enfriamiento | |
|----------------------------------|-----------------------|
| Recinto: | Laboratorio general |
| Región | Cartago |
| Aplicación | Laboratorio |
| Área | 234,00 m ² |

| | | |
|---|------------------|----------------|
| Volumen | 584,50 | m ³ |
| Cargas térmicas | | |
| Ganancia de calor debido a techos | 37 059,00 | BTU/h |
| Ganancia de calor debido a paredes exteriores | 4 343,00 | BTU/h |
| Ganancia de calor debido a vidrios exteriores | No presenta | BTU/h |
| Ganancia de calor debido a piso superior | Se omite | BTU/h |
| Ganancia de calor debido a recinto anexos | Se omite | BTU/h |
| Ganancia de calor debido a ventanas | 854,00 | BTU/h |
| Ganancia de calor debido a luminarias | 7 097,00 | BTU/h |
| Ganancia de calor debido a personas | 6 363,00 | BTU/h |
| Ganancia de calor debido a equipos | 14 344,00 | BTU/h |
| Ganancia de calor debido a infiltración | Se omite | BTU/h |
| Factor de corrección | 0,47 | |
| % de pérdidas en ductos | 5% | |
| Factor de seguridad | 10% | |
| Carga total de enfriamiento | 81 384,00 | BTU/h |

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

Gráfico 4.1. Carga total de enfriamiento para el recinto: Laboratorio General



Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

4.1.2 Área de octanaje

Como se puede observar en el gráfico 4.2, el valor de calor generado por equipos implica el 81% de la carga de enfriamiento. A diferencia de los demás recintos, la carga generada en techos no es la cifra con mayor porcentaje debido a que el valor de área no es significativo.

El recinto, como su nombre lo indica, es de octanaje y por tanto se considera el uso de motores de carburos. Acorde a la teoría descrita en el capítulo anterior, se debe considerar un valor de carga de enfriamiento acorde a los equipos empleados en el recinto.

En la tabla 4.4 se puede observar algunos de los valores más significativos del cálculo de la carga de enfriamiento. Para la selección de la carga de equipos se considera un motor de 7460 W (10 HP).

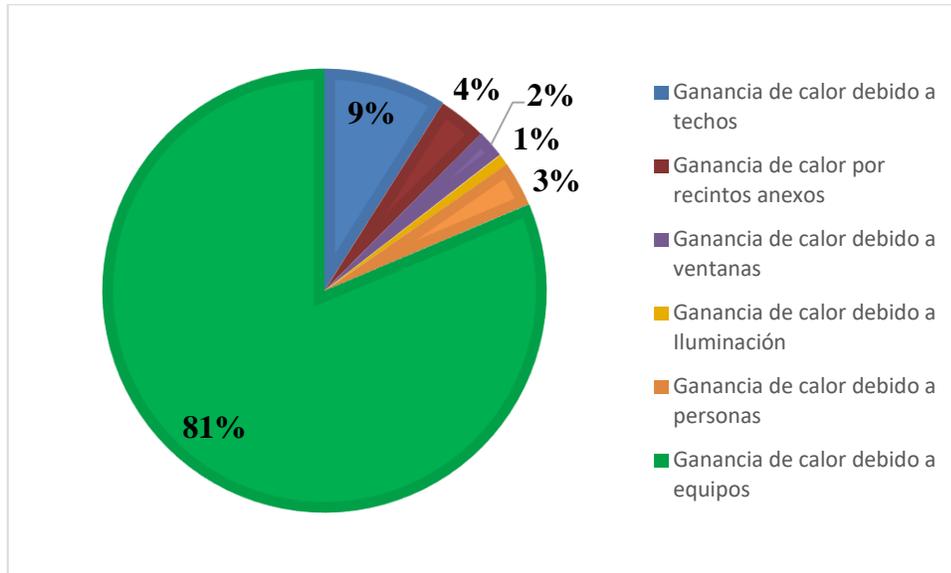
Tabla 4.3. Carga total de enfriamiento para el recinto: Área de octanaje

| Resumen de hoja de calculo | | |
|---|------------------|----------------|
| Recinto: | Área de octanaje | |
| Región | Cartago | |
| Aplicación | Laboratorio | |
| Área | 20 | m ² |
| Volumen | 50 | m ³ |
| Cargas térmicas | | |
| Ganancia de calor debido a techos | 3 294 | BTU/h |
| Ganancia de calor debido a paredes exteriores | 13 | BTU/h |
| Ganancia de calor debido a vidrios exteriores | No presenta | BTU/h |
| Ganancia de calor debido a piso superior | Se omite | BTU/h |
| Ganancia de calor debido a recinto anexos | 1 298 | BTU/h |
| Ganancia de calor debido a ventanas | 752 | BTU/h |
| Ganancia de calor debido a luminarias | 304 | BTU/h |
| Ganancia de calor debido a personas | 1 210 | BTU/h |
| Ganancia de calor debido a equipos | 30 000 | BTU/h |
| Ganancia de calor debido a infiltración | Se omite | BTU/h |
| Factor de corrección | 0,47 | |
| % de pérdida por fugas en ductos | 5% | |

| | | |
|------------------------------------|---------------|--------------|
| Factor de seguridad | 10% | |
| Carga total de enfriamiento | 41 717 | BTU/h |

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

Gráfico 4.2. Carga total de enfriamiento para el recinto: Área de octanaje



Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

4.1.3 Resumen de carga de enfriamiento

Para los demás recintos, que requieren una solución de aire acondicionado, se presenta su valor de carga total de enfriamiento en la tabla 4.5. Esta tabla presenta un resumen de los valores calculados para cada recinto y la carga seleccionada para diseño. Todas las evaporadoras son tipo Cassette.

Tabla 4.4. Resumen de carga total de enfriamiento para los recintos con implementación de un sistema de aire acondicionado para confort

| Edificio | Recinto | Área (m ²) | Carga térmica (BTU/h) | Carga de diseño (BTU/h) |
|--------------------|--|------------------------|-----------------------|-------------------------|
| Control de calidad | Área de balanzas | 18 | 8 156 | 8 000 |
| | Custodia de frío y caliente | 17 | 7 888 | 8 000 |
| | Área de octanaje | 20 | 41 717 | 42 000 |
| | Área de sustancias altamente contaminantes | 26 | 7 838 | 8 000 |
| | Laboratorio general | 234 | 81 384 | 82 000 |

| Edificio | Recinto | Área (m ²) | Carga térmica (BTU/h) | Carga de diseño (BTU/h) |
|-------------------------------|--------------------------------------|------------------------|-----------------------|-------------------------|
| Administración planta baja | Jefatura de control de calidad | 17 | 8 592 | 9 000 |
| | Sala de reuniones control de calidad | 20 | 11 996 | 12 000 |
| | Coordinación técnica | 6 | 4 236 | 5 000 |
| | Jefatura de metrología | 19 | 12 265 | 13 000 |
| | Sala de reuniones metrología | 10 | 5 511 | 6 000 |
| | Vestíbulo y pasillos | 232 | 61 160 | 62 000 |

| Edificio | Recinto | Área (m ²) | Carga térmica (BTU/h) | Carga de diseño (BTU/h) |
|----------------------------|--|------------------------|-----------------------|-------------------------|
| Laboratorio de metrología | Laboratorio general de metrología | 117 | 34 299 | 35 000 |
| Administración planta alta | Dirección de aseguramiento de calidad | 20 | 13 370 | 14.000 |
| | Sala de reuniones control de calidad | 20 | 19 033 | 20 000 |
| | Área administrativa de control de la calidad | 83 | 47 061 | 47 000 |
| | Pasillos y área de espera | 111 | 45 816 | 46 000 |
| | Sala de reuniones de metrología | 9 | 7 798 | 8 000 |

| Edificio | Recinto | Área (m ²) | Carga térmica (BTU/h) | Carga de diseño (BTU/h) |
|----------|-----------------------------------|------------------------|-----------------------|-------------------------|
| | Área de administración metrología | 41 | 16 566 | 17 000 |
| | Uso futuro | 35 | 18 922 | 19 000 |

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

La tabla presenta los valores de diseño para seleccionar las evaporadoras a utilizar. Los equipos de aire acondicionado se seleccionan acorde a su capacidad de enfriamiento. Las capacidades de los equipos comerciales tipo Split se presentan en formato de 9 000 BTU/h, 12 000 BTU/h, 18 000 BTU/h, 24 000 BTU/h, 36 000 BTU/h, 48 000 BTU/h y de 60 000 BTU/h.

Sin embargo, las denominaciones anteriores aplican para sistemas uno a uno, es decir, una condensadora por una evaporadora. Para este diseño se emplea un sistema VRV. Este sistema se selecciona debido a la carga variable del diseño, la independencia de condensadoras para cada edificio.

4.2 Aire acondicionado para confort

El sistema VRV, mencionado en el capítulo anterior, emplea una condensadora para una cantidad delimitada de evaporadoras. La capacidad del condensador va a ser la suma de la capacidad de las evaporadoras ancladas al sistema. El valor de cada manejadora consiste en su valor de carga de enfriamiento.

Para el caso en estudio, un sistema de refrigerante variable es ideal para un correcto acondicionamiento del aire. El cálculo realizado representa el valor máximo esperado de carga térmica en el recinto, es decir, no necesariamente la carga a enfriar presente este valor de forma constante.

Con el sistema flujo variable la evaporadora, mediante el uso de sensores, va a solicitar al condensador el refrigerante necesario para la carga requerida en ese instante. Esta regulación de la carga de enfriamiento permite mantener el recinto en las condiciones de diseño durante el transcurso del día.

Sin embargo, la manejadora debe estar diseñada para soportar condiciones adversas. Es decir, sin importar si la carga se encuentra en su máximo valor esperado o a la mitad, la evaporadora igual debe suministrar 20°C y 50% HR.

(Europe, 2018) Ofrece el programa “Xpress”, el cual se emplea para realizar la selección de equipos VRV. Acorde a las especificaciones solicitadas, se seleccionan evaporadoras tipo cassette sensitivas de flujo circular.

Se ingresa cada equipo con su respectiva carga de enfriamiento, acorde a la tabla 4.5. Posteriormente se debe seleccionar la condensadora. Se realiza la selección para equipos trifásicos, a 60Hz y para una tensión de 460V. En los equipos VRV, la condensadora puede seleccionarse a dicha tensión, sin embargo, la evaporadora sólo se comercializa a 220V de tensión nominal.

En primera instancia se realiza la distribución de los equipos acorde a sus capacidades de enfriamiento. Posteriormente, mediante un proceso iterativo se determina cuales equipos evaporadores se conectan a una condensadora. Para este diseño se emplean cinco condensadoras. En el anexo 26 se observa el dato de catálogo para la evaporadora tipo cassette, y las condensadoras seleccionadas.

Un aspecto importante a considerar en el diseño es la ruta de las tuberías de refrigerante (suministro y retorno). Para el sistema desarrollado es una sola tubería, un suministro, una retorno, que conecta todas las manejadoras con la condensadora correspondiente. El software implementado brinda los diámetros necesarios para cada sección, sólo se debe ingresar la distancia lineal en cada tramo y la cantidad de accesorios.

En la tabla 4.6 se presentan los equipos y su respectiva cantidad empleados en el diseño. Se emplean un total de cinco condensadoras y treinta evaporadoras. En la

tabla se observa el modelo recomendado por el software; este modelo no es certificado, sin embargo, en caso de requerir la certificación se solicita al fabricante.

Tabla 4.5. Resumen de equipos empleados para sistema VRV

| Equipo | Cantidad | Capacidad (BTU/h) | Modelo sugerido | Descripción |
|--------------|----------|-------------------|-----------------|--------------------------------------|
| Condensadora | 1 | 146 639 | RXYQ144TYDN | VRV IV 460V |
| | 1 | 65 513 | RXYQ72TYDN | VRV IV 460V |
| | 3 | 79 503 | RXYQ96TYDN | VRV IV 460V |
| Evaporadora | 1 | 35 362 | FXFSQ100AVE | Cassette sensitivo de flujo circular |
| | 1 | 44 140 | FXFSQ125AVE | Cassette sensitivo de flujo circular |
| | 6 | 8 778 | FXFSQ25AVE | Cassette sensitivo de flujo circular |
| | 6 | 11 446 | FXFSQ32AVE | Cassette sensitivo de flujo circular |
| | 4 | 14 145 | FXFSQ40AVE | Cassette sensitivo de flujo circular |
| | 7 | 17 526 | FXFSQ50AVE | Cassette sensitivo de flujo circular |
| | 1 | 2 241 | FXFSQ63AVE | Cassette sensitivo de flujo circular |
| | 4 | 25 249 | FXFSQ71AVE | Cassette sensitivo de flujo circular |

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel. Datos de Xpress

El criterio para definir que evaporadoras se conectan en conjunto a una condensadora se debe en primera instancia a la distribución de equipos. Posteriormente, se define por la capacidad de la condensadora para suministrar la carga total de enfriamiento de los equipos conectados.

La distribución de los equipos se puede observar en el apéndice 3. La tabla 4.7 presenta los equipos por recinto conectados a su respectiva evaporadora. Las capacidades de los equipos ya fueron enumerados en la tabla 4.6.

Tabla 4.6. Condensadoras para sistema VRV y equipos evaporadoras asociadas

| Condensadora | Recinto | Modelo |
|---------------------|--|---------------|
| RXYQ144TYDN (117%) | Área de balanzas | FXFSQ25AVE |
| | Custodia de frío y caliente | FXFSQ25AVE |
| | Área de octanaje | FXFSQ125AVE |
| | Área de sustancias altamente contaminantes | FXFSQ25AVE |
| | Laboratorio general | FXFSQ71AVE |
| | Laboratorio general | FXFSQ71AVE |
| | Laboratorio general | FXFSQ100AVE |
| RXYQ96TYDN (100%) | Laboratorio Metrología | FXFSQ50AVE |
| | Laboratorio Metrología | FXFSQ50AVE |
| | Coordinación técnica | FXFSQ25AVE |
| | Vestíbulos y pasillos | FXFSQ32AVE |
| | Vestíbulos y pasillos | FXFSQ32AVE |
| | Vestíbulos y pasillos | FXFSQ32AVE |

| Condensadora | Recinto | Modelo |
|---------------------|--|---------------|
| RXYQ72TYDN (110%) | Jefatura de control de calidad | FXFSQ25AVE |
| | Sala de reuniones control de calidad | FXFSQ40AVE |
| | Jefatura de metrología | FXFSQ40AVE |
| | Sala de reuniones metrología | FXFSQ40AVE |
| | Vestíbulos y pasillos | FXFSQ32AVE |
| | Vestíbulos y pasillos | FXFSQ32AVE |
| RXYQ96TYDN (108%) | Área administrativa control de calidad | FXFSQ50AVE |
| | Área administrativa control de calidad | FXFSQ50AVE |
| | Área administrativa control de calidad | FXFSQ50AVE |
| | Pasillos y área de espera | FXFSQ71AVE |
| | Uso futuro | FXFSQ50AVE |
| RXYQ96TYDN (99%) | Dirección de aseguramiento de calidad | FXFSQ40AVE |
| | Sala de reuniones control de calidad | FXFSQ63AVE |
| | Pasillos y área de espera | FXFSQ71AVE |

| Condensadora | Recinto | Modelo |
|---------------------|---------------------------------|---------------|
| | Sala de reuniones de metrología | FXFSQ25AVE |
| | Área administración metrología | FXFSQ50AVE |

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

En la tabla 4.7 se observa que las condensadoras presentan un porcentaje. Este valor hace alusión al factor de diversidad. Este dato indica la capacidad del equipo y su relación con la carga de enfriamiento total de las evaporadoras conectadas.

Por ejemplo, si la unidad condensadora presenta un factor de diversidad del 100% implica que cuando las evaporadoras soliciten la totalidad de su carga el equipo puede suministrar el total de la carga. Como los equipos VRV definen su funcionamiento bajo el principio de que la carga de enfriamiento es variable y que la probabilidad de que los equipos trabajen a su máxima capacidad al mismo tiempo, es casi nula.

(DAIKIN, 2017) Permite un factor de diversidad de 130%. Esto debido a que la carga de enfriamiento se calcula para el día más caliente del año, a la hora de mayor incidencia y con las condiciones de operación más adversas para las condiciones de confort.

El recinto no requiere de carga de enfriamiento máxima de forma constante, únicamente cuando las consideraciones de cálculo se presenten. Es decir, la carga de enfriamiento es menor a la calcula y permite emplear un factor de diversidad para seleccionar equipos más pequeños y por tanto, de menor costo.

Si la condensadora de Control de Calidad presenta un factor de 117%, implica que cuando las evaporadoras exijan toda su carga, existirá un faltante de 17% en la carga de enfriamiento. Esta deficiencia se evidencia en que la cantidad de refrigerante no es suficiente y la manejadora de menor capacidad es quién asume el faltante.

4.3 Aire acondicionado para precisión

Los recintos que requieren aire acondicionado, que no están enumerados en la sección anterior, su operación se rige a partir de condiciones diferentes de operación. Los equipos a utilizar en estos recintos necesitan condiciones de 20°C y 50%HR.

Para estos recintos, acorde a lo solicitado, se requiere que la humedad relativa no varíe más de 5% en el transcurso de cuatro horas y que la temperatura se mantenga idealmente en 20°C.

En la tabla 4.8 se presenta la carga de enfriamiento requerida por cada recinto de precisión. En el anexo 27 y 28 se pueden observar los datos de catálogo para cada equipo seleccionado en esta sección.

Tabla 4.7. Resumen de carga total de enfriamiento para los recintos con implementación de un sistema de aire acondicionado de precisión

| Edificio | Recinto | Área (m2) | Carga térmica (BTU/h) | Carga de diseño (BTU/h) |
|------------|-------------------------|-----------|-----------------------|-------------------------|
| Metrología | Tiempo y electricidad | 14 | 11 575 | 12 000 |
| | Presión y densidad | 50 | 19 212 | 20 000 |
| | Temperatura y humedad | 50 | 19 337 | 20 000 |
| | Calibración dimensional | 25 | 11 641 | 12 000 |

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

La distribución de los recintos no se puede alterar o redistribuir. Por tanto, las capacidades calculadas son definitivas y presentan un reto para el diseño.

La dificultad radica en que los equipos industriales de aire acondicionado de precisión se fabrican a partir de los 24 000 BTU/h. El recinto de calibración dimensional y el recinto de temperatura y electricidad presentan una carga de enfriamiento de 12 000 BTU/h.

Para poder garantizar las condiciones de precisión, el equipo emplea una serie de sensores que miden las condiciones del recinto. Los sensores brindan información para que el equipo se regule y pueda mantener las condiciones de diseño. Estos sensores son propios de los equipos industriales.

Acorde con (Aire, 2013) el equipo sólo puede garantizar la precisión a un recinto. Es decir, si existe una división entre el aire que se está acondicionando sólo se presentan condiciones de diseño en el aire cercano al sensor. La precisión debe ser uniforme en todo el aire del recinto, por tanto, al existir una división y aplicaciones de recinto distintas, la carga varía de forma heterogénea imposibilitando la uniformidad de las condiciones de diseño.

Acorde a la distribución de los recintos, ver apéndice 3, y la especificación del fabricante, no es posible emplear un equipo para varios recintos. Por tanto, para los recintos mencionados el diseño no consiste sólo en una selección de equipos, sino que requieren un análisis más detallado.

Para el recinto de temperatura-humedad y el recinto de presión-densidad, la carga de enfriamiento es de 20 000 BTU/h. La diferencia de este dato con el valor nominal de los equipos industriales no tiene un efecto considerable en la precisión del sistema.

4.3.1 Diseño para recintos: Calibración dimensional - Temperatura y electricidad

La condición de diseño crítica consiste en el porcentaje de humedad relativa. Dado que la carga de enfriamiento es menor al valor disponible comercialmente, no se puede seleccionar equipos de precisión. Sin embargo, se debe disponer de un sistema para mantener al menos, en valor de diseño, la variable más crítica.

Como solución alternativa se presenta la rueda desecante. Acorde a lo desarrollado en el marco teórico, consiste en un equipo colocado en el exterior y que mediante ductos, recircula el aire del recinto de forma tal que pasa por una rueda desecante. En este punto ocurre la des-humificación y el aire ingresa al recinto en condición deseada.

El equipo mantiene de forma constante el valor establecido de humedad relativa, sin embargo no regula la temperatura. Debe trabajar de forma constante a la necesidad del recinto y mediante el uso de un sensor, regula el equipo para entregar el valor deseado de humedad relativa.

Para la variable de la temperatura se emplea un sistema de control que opera bajo el mismo principio de los equipos VRV. Los sistemas de alta eficiencia inverter, presentan un compresor que regula la cantidad de refrigerante empleado en el sistema.

El sistema inverter de alta eficiencia, a diferencia de los VRV, consiste en un sistema Split (manejadora-condensadora). La diferencia con los sistemas Split tradicionales o de baja eficiencia radica en la regulación del flujo de refrigerante. A pesar de disponer de una regulación más sensible de la temperatura en el recinto, no se puede considerar como un sistema preciso.

Históricamente, como se observa en el anexo 24, la temperatura externa se mantiene en valores cercanos al valor de diseño. Por tanto, la regulación de la temperatura no presenta un escenario crítico y puede ser manejado por el sistema Split inverter. Se

considera una solución acorde al diseño y permite mantener la temperatura en un rango aceptable.

En la tabla 4.9 se observa la selección de equipo inverter y en la tabla 4.10 se observa la selección para ruedas desecantes. Con el nombre de cada equipo, en el apéndice 3, se puede observar la distribución realizada por recinto.

Tabla 4.8. Resumen de equipos Split inverter seleccionados para los recintos: Calibración dimensional y Temperatura-Electricidad

| Equipo | Capacidad (W) | Caudal (L/s) | Conexión | Modelo Lennox | Cantidad |
|----------|---------------|--------------|----------|-------------------|----------|
| UE/UC-03 | 5276 | 306 | 208/60/1 | LICH018 / LISH018 | 2 |

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

Tabla 4.9. Resumen de equipos ruedas desecantes para los recintos: Calibración dimensional y Temperatura-Electricidad

| Equipos de rueda desecante para control de humedad relativa | | | | | |
|---|--------------|-----|----------|----------------|----------|
| Equipo | Caudal (L/s) | %HR | Conexión | Modelo Bry-Air | Cantidad |
| RD-01 | 299,88 | 50 | 460/3/1 | FFB-1000 | 1 |
| RD-02 | 449,82 | 50 | 460/3/1 | FFB-1500 | 1 |

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

4.3.2 Diseño para recintos: Temperatura y humedad - Presión y densidad

Para estos recintos se debe seleccionar el equipo de precisión acorde a la carga de enfriamiento calculada. En la tabla 4.8 se observa el valor para ambos recintos, para una carga de enfriamiento de 20 000 BTU/h se debe seleccionar un equipo de 24 000 BTU/h nominales.

Una vez determinada la carga de enfriamiento del equipo, se debe determinar el tipo de equipo se va a emplear. En el apéndice 3 se puede observar que el laboratorio de

metrología dispone de un cuarto para las evaporadoras. En este cuarto se coloca las evaporadoras de ambos recintos y por medio de ductos se suministra y se retorna el aire del recinto.

La tabla 4.11 se observa el resumen de los equipos seleccionados por área a acondicionar. Los equipos son de referencia Data Aire. En el anexo 28 se pueden observar especificaciones de los modelos considerados.

Para el recinto de presión y densidad se tiene una condición de diseño particular. El laboratorio requiere, en un momento indefinido, una extracción del 20% del volumen de aire del recinto.

El fabricante (Aire, 2013) indica que, si existe más de un 5% de cambio en el aire recirculado, el equipo no puede garantizar las condiciones de precisión. Es decir, cada vez que se presente una extracción, el sistema pierde precisión hasta que logre alcanzar un estado estable, este período de tiempo no cumple con los requisitos de diseño.

Para alcances de este trabajo, la extracción es dada por un equipo del laboratorio y no entra en los alcances establecidos. Sin embargo, se debe de considerar para un correcto diseño en el sistema de aire acondicionado.

Acorde a lo desarrollado en el marco teórico, el equipo de precisión regula primero la temperatura y después la humedad relativa. Por tanto, se pretende diseñar en función la segunda variable.

Al tener una extracción, para mantener el equilibrio debe de existir una restitución del caudal. Este aire entra al sistema con condiciones diferentes a las de diseño. Es decir, se pierde la precisión en el acondicionamiento del aire. Para evitar que esto ocurra, se coloca una rueda desecante.

La rueda entra a funcionar en el instante que se da la extracción. Repone el caudal extraído con una humedad relativa del 50%, por tanto, el equipo de precisión solo debe tratar la temperatura de su valor externo al valor de consigna. Esto implica que la variación es mínima y se mantienen las condiciones de diseño. La selección del equipo se observa en la tabla 4.12.

**Tabla 4.10. Resumen de equipos de precisión seleccionados para los recintos:
Temperatura-Humedad y Presión-Densidad**

| Equipos para el sistema de aire acondicionado de precisión | | | | | |
|--|---------------|--------------|----------|------------------|----------|
| Equipo | Capacidad (W) | Caudal (L/s) | Conexión | Modelo DATA AIRE | Cantidad |
| UC/UE-01 | 7 034 | 408 | 460/60/3 | DTAD/U-02 | 1 |
| UC/UE-02 | 7 034 | 408 | 460/60/3 | DTAD/U-02 | 1 |

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

**Tabla 4.11. Resumen de equipo rueda desecante para recinto Presión y
Densidad**

| Equipos de rueda desecante para control de humedad relativa | | | | | |
|---|--------------|-----|----------|----------------|----------|
| Equipo | Caudal (L/s) | %HR | Conexión | Modelo Bry-Air | Cantidad |
| RD-03 | 132,6 | 50 | 460/3/1 | FFB-600 | 1 |

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

4.3.3 Dimensionamiento de ductos y cálculo de la caída de presión para el sistema de aire acondicionado de precisión.

Se puede observar la distribución, rutas y distancias en los diagramas del apéndice 3. Las rejillas y difusores empleados, además del detalle de conexión de la rueda desecante R-03 con el sistema de retorno también se observan en este apéndice. Los ductos se contemplan con material P3 Ductal.

Tabla 4.12. Dimensionamiento y cálculo de caída de presión para suministro del recinto Temperatura y Humedad

| Recinto | Temperatura y Humedad Suministro | | | | Material | P3 | | | Diseño | R. Cascante | | | |
|-------------------------------|----------------------------------|-------|----------------------------|-----------------------|-------------------------|--------|-----------|----------|-----------|----------------------------------|--------------------------------------|--------------|---------------------|
| Ubicación | Ochomogo, Cartago | | | | | | | | Reviso | D. Trejos | | | |
| Tramo/ Accesorio | Caudal | | Fricción en conducto | Diámetro requerido | Ductos rectangulares | | Velocidad | Longitud | Accesorio | Caída de presión en tramos | Caída de presión en accesorios | Ruta crítica | |
| | CFM | m³/h | Pa/m | mm | a (mm) | b (mm) | m/s | m | C | Pa | Pa | Pa | in H ₂ O |
| A-B | 1 300,0 | 2 210 | 0,8 | 400,0 | 450,0 | 300,0 | 6,0 | 11,0 | | 8,3 | | 8,3 | 0,0331 |
| Codo 90° CR3-1 | | | | | | | | | 1,2 | | 24,9 | 24,9 | 0,1002 |
| Tee SR5- 15 | | | | | | | | | 1,0 | | 15,2 | 15,2 | 0,0611 |
| B-C | 650,0 | 1 105 | 1,8 | 250,0 | 200,0 | 300,0 | 5,0 | 3,0 | | 5,4 | | 5,4 | 0,0217 |
| Difusor JS | | | | | | | | | | | 8,7 | 8,7 | 0,0350 |
| B-D | 650,0 | 1 105 | 1,8 | 250,0 | 200,0 | 300,0 | 5,0 | 3,0 | | 5,4 | | | |
| Caída de presión | | | | | | | | | | | 62,5 | 0,3 | |
| Factor de seguridad | | | | | | | | | | | 20% | 20% | |
| Caída total de presión | | | | | | | | | | | 75,0 | 0,3 | |

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

Tabla 4.13. Dimensionamiento y cálculo de caída de presión para suministro del recinto Presión y Densidad

| Recinto | Presión y Densidad Suministro | | | Material | P3 | | | | Diseño | R. Cascante | | | | |
|---------------------|-------------------------------|---------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|--------|-----------|----------|-----------|----------------------------------|--------------------------------------|--------------|--------------------------|-------|
| Ubicación | Ochomogo, Cartago | | | | | | | | Reviso | Ing. D. Trejos | | | | |
| Tramo/ Accesorio | Caudal | | Fricción en conducto | Diámetro requerido | Ductos rectangulares | | Velocidad | Longitud | Accesorio | Caída de presión en tramos | Caída de presión en accesorios | Ruta crítica | | |
| | CFM | m³/h | Pa/m | mm | a (mm) | b (mm) | m/s | m | C | (Pa) | (Pa) | Pa | (in H ₂ O) | |
| A-B | 1 300,0 | 2 210,0 | 0,8 | 400,0 | 450,0 | 300,0 | 6,0 | 19,0 | | 14,3 | | 14,250 | 0,057 | |
| Codo 90° CR3-1 | | | | | | | | | 1,18 | | 25,6 | 25,587 | 0,103 | |
| Codo 90° CR3-1 | | | | | | | | | 1,18 | | 25,6 | 25,587 | 0,103 | |
| Transición SR4-1 | | | | | | | | | 0,07 | | 1,1 | 1,054 | 0,004 | |
| G-H | 650,0 | 1 105,0 | 1,8 | 250,0 | 200,0 | 300,0 | 5,0 | 4,0 | | 7,2 | | 7,2 | 0,029 | |
| Difusor JS | | | | | | | | | | | 8,7 | 8,7094 | 0,035 | |
| | | | | | | | | | | | Caída de presión | | 82,389 | 0,331 |
| | | | | | | | | | | | Factor de seguridad | | 20% | 20% |
| | | | | | | | | | | | Caída de presión total | | 98,867 | 0,397 |

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

Tabla 4.14. Dimensionamiento y cálculo de caída de presión para retorno de los recintos: Presión-Densidad y Temperatura-Humedad

| Recinto | Retorno de sistemas de precisión | | | Material | P3 | | | | Diseño | R. Cascante | | | | |
|---------------------|----------------------------------|-------------------|----------------------|--------------------|----------------------|--------|-----------|----------|------------|----------------------------|--------------------------------|--------------|---------------------|---------------|
| Ubicación | Ochomogo, Cartago | | | | | | | | Reviso | Ing. D. Trejos | | | | |
| Tramo/ Accesorio | Caudal | | Fricción en conducto | Diámetro requerido | Ductos rectangulares | | Velocidad | Longitud | Accesorios | Caída de presión en tramos | Caída de presión en accesorios | Ruta crítica | | |
| | CFM | m ³ /h | Pa/m | mm | a (mm) | b (mm) | m/s | m | C | Pa | (Pa) | Pa | in H ₂ O | |
| A-B | 650,0 | 1 105,0 | 1,8 | 250,0 | 200,0 | 300,0 | 5,0 | 3,5 | | 6,3 | | 6,3 | 0,0253 | |
| Transición SR-4 | | | | | | | | | 0,1 | | 1,0541 | 1,0541 | 0,0042 | |
| B-C | 1 300,0 | 2 210,0 | 0,8 | 400,0 | 450,0 | 300,0 | 6,0 | 8,0 | | 6,0 | | 6,0 | 0,0241 | |
| Transición SR-4 | | | | | | | | | 0,1 | | 1,5179 | 1,5179 | 0,0061 | |
| C-D | 2 600,0 | 4 420,0 | 0,9 | 500,0 | 700,0 | 300,0 | 6,0 | 16,0 | | 14,4 | | 14,4 | 0,0577 | |
| Codo 90° CR3-1 | | | | | | | | | 1,2 | | 25,5879 | 25,5879 | 0,1026 | |
| Tee SR5-1 | | | | | | | | | 0,7 | | 15,1793 | 15,1793 | 0,0609 | |
| D-E | 1 300,0 | 2 210,0 | 0,8 | 400,0 | 450,0 | 300,0 | 6,0 | 3,0 | | 2,3 | | 2,25 | 0,0090 | |
| D-F | 1 300,0 | 2 210,0 | 1,2 | 400,0 | 450,0 | 300,0 | 6,0 | 2,0 | | 2,4 | | 2,4 | 0,0096 | |
| Tee SR5-1 | | | | | | | | | 1,1 | | 24,0700 | 24,0700 | 0,0965 | |
| Rejilla RA | | | | | | | | | | | 22,3956 | 22,3956 | 0,0900 | |
| | | | | | | | | | | | Caída de presión | | 121,1548 | 0,4860 |
| | | | | | | | | | | | Factor de seguridad | | 20% | 0,2000 |
| | | | | | | | | | | | Caída de presión total | | 145,3858 | 0,5832 |

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

Tabla 4.15. Dimensionamiento y cálculo de caída de presión para rueda desecante RD-03

| Recinto | Retorno de sistemas de precisión | | | | Material | P3 | | | Diseño | R. Cascante | | | | |
|--|----------------------------------|-------|----------------------|--------------------|----------------------|--------|-----------|----------|------------|----------------------------|--------------------------------|--------------|---------------------|--------|
| Ubicación | Ochomogo, Cartago | | | | | | | | Reviso | Ing. D. Trejos | | | | |
| Tramo/ Accesorio | Caudal | | Fricción en conducto | Diámetro requerido | Ductos rectangulares | | Velocidad | Longitud | Accesorios | Caída de presión en tramos | Caída de presión en accesorios | Ruta crítica | | |
| | CFM | m³/h | Pa/m | mm | a (mm) | b (mm) | m/s | m | C | Pa | (Pa) | Pa | in H ₂ O | |
| Sistema interno: Suministro | | | | | | | | | | | | | | |
| A-B | 260,0 | 442,0 | 0,9 | 200,0 | 150,0 | 300,0 | 3,5 | 3,0 | | 2,7 | | 2,7 | 0,0108 | |
| Codo 90° CR3-1 | | | | | | | | | 1,2 | | 8,7 | 8,7 | 0,0350 | |
| | | | | | | | | | | | Caída de presión | | 11,4 | 0,0458 |
| | | | | | | | | | | | Factor de seguridad | | 20% | 0,2000 |
| | | | | | | | | | | | Caída de presión total | | 13,7 | 0,0550 |
| Sistema externo: Suministro y retorno | | | | | | | | | | | | | | |
| A-B | 260,0 | 442,0 | 0,9 | 200,0 | 200,0 | 200,0 | 3,5 | 2,0 | | 1,8 | | 1,8 | 0,0072 | |
| Rejilla de intemperie | | | | | | | | | | | 31,1 | 31,1 | 0,1250 | |
| | | | | | | | | | | | Caída de presión | | 32,9 | 0,132 |
| | | | | | | | | | | | Factor de seguridad | | 20% | 20% |
| | | | | | | | | | | | Caída de presión total | | 39,5 | 0,159 |

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

Tabla 4.16. Dimensionamiento y cálculo de caída de presión para el recinto de Tiempo y Electricidad

| Recinto | Tiempo y Electricidad | | Material | P3 | | | | Diseño | R. Cascante | | | | | |
|---------------------|-----------------------|-------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|--------|-----------|----------|----------------|----------------------------------|--------------------------------------|--------------|---------------------|--------------|
| Ubicación | Ochomogo, Cartago | | | | | | | Reviso | Ing. D. Trejos | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| Tramo/ Accesorio | Caudal | | Fricción en conducto | Diámetro requerido | Ductos rectangulares | | Velocidad | Longitud | Accesorios | Caída de presión en tramos | Caída de presión en accesorios | Ruta crítica | | |
| | CFM | m ³ /h | Pa/m | mm | a (mm) | b (mm) | m/s | m | C | Pa | Pa | Pa | in H ₂ O | |
| Suministro | | | | | | | | | | | | 0 | 0 | |
| A-B | 588,2 | 1 000,0 | 1,8 | 250,0 | 200,0 | 300,0 | 6,0 | 3,5 | | 6,3 | | 6,3 | 0,025 | |
| Codo 90° CR3-1 | | | | | | | | | 1,18 | | 25,587 | 25,587 | 0,103 | |
| Descarga libre | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | Caída de presión | | 31,887 | 0,128 |
| | | | | | | | | | | | Factor de seguridad | | 20% | 20% |
| | | | | | | | | | | | Caída de presión total | | 38,265 | 0,153 |

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

| Retorno | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|--------|---------|-------------------------|-----------------------|----------------------|--------|-----------|----------|------------|----------------------------------|--------------------------------------|----------------|---------------------|
| Tramo/ Accesorio | Caudal | | Fricción en conducto | Diámetro requerido | Ductos rectangulares | | Velocidad | Longitud | Accesorios | Caída de presión en tramos | Caída de presión en accesorios | Ruta crítica | |
| | CFM | m³/h | Pa/m | mm | a (mm) | b (mm) | m/s | m | C | Pa | Pa | Pa | in H ₂ O |
| A-B | 588,2 | 1 000,0 | 1,8 | 250,0 | 200,0 | 300,0 | 6,0 | 5,0 | | 9 | | 9 | 0,036 |
| Codo 90° CR3-1 | | | | | | | | | 1,18 | | 25,588 | 25,587 | 0,103 |
| Codo 90° CR3-1 | | | | | | | | | 1,18 | | 25,588 | 25,587 | 0,103 |
| Tee SR5- 15 | | | | | | | | | 1,01 | | 21,901 | 21,901 | 0,088 |
| B-C | 294,1 | 500,0 | 1,5 | 200,0 | 200,0 | 200,0 | 5,0 | 2,0 | | 3 | | 3 | 0,01203 |
| Rejilla RA | | | | | | | | | | | 10,451 | 10,451 | 0,042 |
| C-D | 294,1 | 500,0 | 1,5 | 200,0 | 200,0 | 200,0 | 5,0 | 2,0 | | 3 | | | |
| | | | | | | | | | | | Caída de presión | 95,528 | 0,384 |
| | | | | | | | | | | | Factor de seguridad | 20% | 20% |
| | | | | | | | | | | | Caída de presión total | 114,634 | 0,461 |

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

Tabla 4.17. Dimensionamiento y cálculo de caída de presión para el recinto de Calibración Dimensional

| Recinto | Calibración dimensional | | | | Material | P3 | | | Diseño | R. Cascante | | | |
|---------------------|-------------------------|------------|----------------------------|-----------------------|-------------------------|--------|-----------|----------|-----------|--|--------------------------------------|---------------|---------------------|
| Ubicación | Ochomogo, Cartago | | | | | | | | Reviso | Ing. D. Trejos | | | |
| Tramo/ Accesorio | Caudal (m³/h) | | Fricción en conducto | Diámetro requerido | Ductos rectangulares | | Velocidad | Longitud | Accesorio | Caída de presión en tramos | Caída de presión en accesorios | Ruta crítica | |
| | CFM | m³/h | Pa/m | mm | a (mm) | b (mm) | m/s | m | C | Pa | Pa | Pa | in H ₂ O |
| Suministro | | | | | | | | | | | | | |
| A-B | 882,4 | 1 500,0 | 1,2 | 315,0 | 300,0 | 300,0 | 6,0 | 3,5 | | 4,2 | | 4,2 | 0,017 |
| Codo 90° CR3-1 | | | | | | | | | 1,18 | | 25,588 | 25,588 | 0,103 |
| Descarga libre | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | Caída de presión | 29,788 | 0,119671 |
| | | | | | | | | | | | Factor de seguridad | 20% | 20% |
| | | | | | | | | | | | Caída de presión total | 35,745 | 0,144 |

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

| Retorno | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|--------|---------|-------------------------|-----------------------|----------------------|--------|-----------|----------|------------|----------------------------------|--------------------------------------|--------------|---------------------|
| Tramo/ Accesorio | Caudal | | Fricción en conducto | Diámetro requerido | Ductos rectangulares | | Velocidad | Longitud | Accesorios | Caída de presión en tramos | Caída de presión en accesorios | Ruta crítica | |
| | CFM | m³/h | Pa/m | mm | a (mm) | b (mm) | m/s | m | C | Pa | Pa | Pa | in H ₂ O |
| A-B | 882,4 | 1 500,0 | 1,2 | 315,0 | 300,0 | 300,0 | 6,0 | 5,0 | | 6 | | 6 | 0,024 |
| Codo 90° CR3-1 | | | | | | | | | 1,18 | | 25,588 | 25,588 | 0,103 |
| Codo 90° CR3-1 | | | | | | | | | 1,18 | | 25,588 | 25,588 | 0,103 |
| Tee SR5- 15 | | | | | | | | | 1,01 | | 21,902 | 21,902 | 0,088 |
| B-C | 441,2 | 750,0 | 1,0 | 250,0 | 250,0 | 250,0 | 5,0 | 2,0 | | 2 | | 2 | 0,00802 |
| Rejilla RA | | | | | | | | | | | 10,451 | 10,451 | 0,042 |
| C-D | 441,2 | 750,0 | 1,0 | 250,0 | 250,0 | 250,0 | 5,0 | 2,0 | | 2 | | | |
| | | | | | | | | | | | Caída de presión | 91,529 | 0,368 |
| | | | | | | | | | | | Factor de seguridad | 20% | 20% |
| | | | | | | | | | | | Caída de presión total | 109,834 | 0,441 |

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

4.4 Diseño sistema de ventilación

Para el diseño de ventilación se determina trabajar con cinco sectores: Laboratorio general, recintos de control de calidad, área de lavado, cafetín y baños. El primer recinto requiere una presión positiva de 12,5 Pa (0,05 in cda) y se debe realizar el diseño y selección de equipo para esta condición.

El laboratorio general posee equipos con campanas de extracción para un caudal total de 3 774 L/s (7 400 CFM). Para obtener una presión positiva en el recinto se emplea la gráfica del anexo 17.

Se requiere conocer el área de fuga del recinto. Como no presenta ventanas, se calcula este valor con el valor de la infiltración por puertas. Considerando un total de once puertas se obtiene un área de 0,2165 m² (335,62 in²).

Una vez obtenido el valor de área de fuga y el caudal actual de extracción se emplea la gráfica del anexo 17 y se obtiene un valor de aproximado de 690 L/s (1 350 CFM). El valor de caudal obtenido es el que se debe inyectar de más para mantener la presión positiva requerida. Es decir, se debe inyectar el mismo valor de extracción más el valor de flujo calculado.

La mayoría de los recintos a intervenir con el sistema de ventilación tienen su valor de cambios de aire definidos por el cliente, no obstante, se realiza una plantilla de cálculo acorde lineamientos de la norma ASHRAE.

En el apéndice 2 se puede observar la plantilla empleada y en la tabla 4.19 se observa un resumen de los cambios de volumen de aire por recinto.

Tabla 4.18. Resumen de cargas de ventilación

| Recinto | Cambios de aire | Cambios de aire |
|--|-----------------|-----------------|
| | L/s | CFM |
| Laboratorio general | 4 590 | 9 000 |
| Área de balanzas | 168,3 | 330 |
| Área de sustancias altamente contaminantes | 272,85 | 535 |
| Área de octanaje | 612 | 1 200 |
| Área de lavado | 255 | 400 |
| Baños | 153 | 300 |
| Cafetín | 76,5 | 150 |

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

Al tener definidos los cambios de aire por recinto se realiza la distribución de los sistemas. Se decide trabajar con cinco sectores, anteriormente mencionados. La distribución se puede observar en el apéndice 1 la distribución.

El laboratorio general consiste en solo inyección, con la condición de brindar presión positiva. Por su parte, para los recintos de control de calidad consiste en el área de balanzas, área de sustancias altamente contaminantes y área de octanaje. Este sector debe brindar tanto inyección como extracción de aire.

El área de lavado, ubicada dentro del edificio de control de calidad, se separa de los recintos anteriores por su lejanía. Es decir, si se considera como un solo sistema implica instalar mucho ducto e intervenir gran parte del edificio. Por consecuencia, se define como un sistema independiente.

Los baños y el cafetín se encuentran en el edificio de administración, tanto en planta baja como en planta alta. Estos equipos solo presentan extracción y su funcionamiento va enclavado a las luces del recinto, debido a que no requiere funcionamiento continuo.

4.4.1 Dimensionamiento de ductos y cálculo de la caída de presión para el sistema de aire acondicionado de precisión

Se puede observar la distribución, rutas y distancias en los diagramas del apéndice 1. Las rejillas y difusores empleados también se observan en este apéndice. Los ductos se contemplan con material P3 Ductal.

Tabla 19. Dimensionamiento y cálculo de caída de presión para suministro de recintos de control de calidad.

| Recinto | Suministro recintos de Control de Calidad | | | | Material | P3 | | Diseño | R. Cascante | | | | | |
|---------------------|---|---------|----------------------|--------------------|----------------------|--------|-----------|----------|----------------|----------------------------|--------------------------------|--------------|---------------------|-------|
| Ubicación | Ochomogo, Cartago | | | | Aislamiento | - | | Reviso | Ing. D. Trejos | | | | | |
| Tramo/ Accesorio | Caudal | | Fricción en conducto | Diámetro requerido | Ductos rectangulares | | Velocidad | Longitud | Accesorio | Caída de presión en tramos | Caída de presión en accesorios | Ruta crítica | | |
| | CFM | L/s | Pa/m | mm | a (mm) | b (mm) | m/s | m | C | Pa | Pa | Pa | in H ₂ O | |
| Área combinada | | | | | | | | | | | | | | |
| Vertical | 2 065,0 | 1 053,2 | 1,8 | 400,0 | 400,0 | 350,0 | 8,0 | 3,0 | | 5,4 | | 5,4 | 0,022 | |
| Tee SR5-15 | | | | | | | | | 0,92 | | 35,47 | 35,5 | 0,143 | |
| A-B | 1 200,0 | 612,0 | 1,8 | 400,0 | 400,0 | 350,0 | 5,0 | 3,0 | | 5,4 | | | | |
| Codo 90°CR3-1 | | | | | | | | | 1,2 | | 58,55 | 58,5 | 0,235 | |
| A-C | | 441,2 | 0,9 | 315,0 | 250,0 | 350,0 | 9,0 | 5,0 | | 4,5 | | 4,5 | 0,018 | |
| Transición SR4-1 | 865,0 | | | | | | | | 0,07 | | 3,42 | 3,4 | 0,014 | |
| C-D | | 168,3 | 0,8 | 200,0 | 250,0 | 150,0 | 2,0 | 5,0 | | 4 | | 4,0 | 0,016 | |
| Difusor JS | | | | | | | | | | | 4,98 | 5,0 | 0,020 | |
| | | | | | | | | | | | Caída de presión | | 116,3 | 0,467 |
| | | | | | | | | | | | Factor de seguridad | | 20% | 20% |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|-------|-------|-----|-------|-------|-------|-----|-----|-------------------------------|------|-------------------------------|-------|--------|-------|
| | | | | | | | | | Caída de presión total | | | 139,6 | 0,561 | |
| Área de lavado | | | | | | | | | | | | | | |
| Vertical | 400,0 | 204,0 | 0,9 | 250,0 | 250,0 | 250,0 | 4,0 | 3,0 | | 2,7 | | 2,7 | 0,011 | |
| Cuello Ganzo | 400,0 | 204,0 | 0,9 | 250,0 | 250,0 | 250,0 | 4,0 | 1,5 | | 1,35 | | 1,4 | 0,005 | |
| Difusor JS | | | | | | | | | | | 6,47 | 6,5 | 0,026 | |
| | | | | | | | | | | | Caída de presión | | 10,5 | 0,042 |
| | | | | | | | | | | | Factor de seguridad | | 30% | 30% |
| | | | | | | | | | | | Caída de presión total | | 13,676 | 0,055 |

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

Tabla 20. Dimensionamiento y cálculo de caída de presión para retorno de recintos de control de calidad.

| | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|-------------------------------------|---------|----------------------|--------------------|----------------------|--------|-----------|----------|----------------|----------------------------|--------------------------------|--------------|---------------------|
| Recinto | Retorno recintos Control de Calidad | | | | Material | P3 | | Diseño | R. Cascante | | | | |
| Ubicación | Ochomogo, Cartago | | | | | | | Reviso | Ing. D. Trejos | | | | |
| Tramo/ Accesorio | Caudal | | Fricción en conducto | Diámetro requerido | Ductos rectangulares | | Velocidad | Longitud | Accesorio | Caída de presión en tramos | Caída de presión en accesorios | Ruta crítica | |
| | CFM | L/s | Pa/m | mm | a (mm) | b (mm) | m/s | m | C | Pa | Pa | Pa | in H ₂ O |
| Área combinada | | | | | | | | | | | | | |
| Vertical | 2 065,0 | 1 053,2 | 1,8 | 400,0 | 400,0 | 350,0 | 8,0 | 3,0 | | 5,4 | | 5,4 | 0,022 |
| Tee SR5-15 | | | | | | | | | 0,92 | | 35,47 | 35,47 | 0,143 |
| A-B | 1 200,0 | 612,0 | 1,8 | 400,0 | 400,0 | 350,0 | 5,0 | 3,0 | | 5,4 | | | |
| Codo 90°CR3-1 | | | | | | | | | 1,2 | | 18,07 | 18,07 | 0,073 |
| A-C | 865,0 | 441,2 | 0,9 | 315,0 | 250,0 | 350,0 | 5,0 | 10,0 | | 9 | | 9 | 0,036 |
| Transición SR4-1 | | | | | | | | | 0,07 | | 1,05 | 1,05 | 0,004 |
| C-D | 330,0 | 168,3 | 0,8 | 200,0 | 250,0 | 350,0 | 5,0 | 1,0 | | 0,8 | | 0,8 | 0,003 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|-------|-------|-----|-------|-------|-------|-----|-----|--|------|-------------------------------|--------|-------|
| Rejilla RA | | | | | | | | | | | 9,95 | 9,95 | 0,040 |
| | | | | | | | | | | | Caída de presión | 79,74 | 0,320 |
| | | | | | | | | | | | Factor de seguridad | 20% | 20% |
| | | | | | | | | | | | Caída de presión total | 95,694 | 0,384 |
| Área de lavado | | | | | | | | | | | | | |
| A | 400,0 | 204,0 | 0,8 | 250,0 | 250,0 | 250,0 | 4,0 | 3,0 | | 2,4 | | 2,4 | 0,010 |
| Cuello | | | | | | | | | | | | | |
| Ganzo | 400,0 | 204,0 | 0,8 | 250,0 | 250,0 | 250,0 | 4,0 | 1,2 | | 0,96 | | 0,96 | 0,004 |
| Rejilla RA | | | | | | | | | | | 17,42 | 17,42 | 0,070 |
| | | | | | | | | | | | Caída de presión | 20,78 | 0,083 |
| | | | | | | | | | | | Factor de seguridad | 20% | 20% |
| | | | | | | | | | | | Caída de presión total | 24,935 | 0,100 |

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

Tabla 21. Dimensionamiento y cálculo de caída de presión para suministro del recinto laboratorio general de control de calidad.

| Recinto | Laboratorio General | | | Material | P3 | | | Diseño | R. Cascante | | | | |
|-------------------------|---------------------|---------|----------------------------|-----------------------|-------------------------|--------|-----------|----------|----------------|-------------------------------------|--------------------------------------|--------------|---------------------|
| Ubicación | Ochomogo, Cartago | | | | | | | Reviso | Ing. D. Trejos | | | | |
| Tramo/ Accesorio | Caudal | | Fricción en conducto | Diámetro requerido | Ductos rectangulares | | Velocidad | Longitud | Accesorio | Caída de presión en tramos | Caída de presión en accesorios | Ruta crítica | |
| | CFM | L/s | Pa/m | mm | a (mm) | b (mm) | m/s | m | C | Pa | Pa | Pa | in H ₂ O |
| Vertical | 9 000,0 | 4 590,0 | 0,9 | 800,0 | 850,0 | 650,0 | 9,0 | 3,0 | | 2,7 | | 2,7 | 0,011 |
| Tee SR5-15 | | | | | | | | | 2,1 | | 102,46 | 102,460 | 0,412 |
| Desviación 1 | | | | | | | | | | | | | |
| A-B | 5 000,0 | 2 550,0 | 1 | 630,0 | 850,0 | 400,0 | 8,0 | 3,0 | | 3 | | 3,0 | 0,012 |
| B-C | 4 000,0 | 2 040,0 | 0,7 | 630,0 | 850,0 | 400,0 | 7,0 | 5,0 | | 3,5 | | 3,5 | 0,014 |
| Codo 90° CR3-1 | | | | | | | | | 0,44 | | 12,99 | 13,0 | 0,052 |
| Transición SR4-1 | | | | | | | | | 1,036 | | 30,58 | 30,6 | 0,123 |
| C-D | 3 000,0 | 1 530,0 | 0,75 | 500,0 | 550,0 | 400,0 | 8,0 | 5,0 | | 3,75 | | 3,8 | 0,015 |
| Transición SR4-1 | | | | | | | | | 1,036 | | 39,94 | 39,9 | 0,160 |
| D-E | 2 000,0 | 1 020,0 | 1,8 | 400,0 | 500,0 | 300,0 | 8,0 | 5,0 | | 9 | | 9,0 | 0,036 |
| Codo 90° CR3-1 | | | | | | | | | 0,44 | | 16,96 | 17,0 | 0,068 |
| Transición SR4-1 | | | | | | | | | 1,036 | | 39,94 | 39,9 | 0,160 |
| E-F | 1 000,0 | 510,0 | 1,6 | 315,0 | 300,0 | 300,0 | 7,0 | 5,0 | | 8 | | 8,0 | 0,032 |
| Difusor JS | | | | | | | | | | | 3,98144 | 4,0 | 0,016 |
| Desviación 2 | | | | | | | | | | | | | |
| A-G | 4 000,0 | 2 040,0 | 0,7 | 630,0 | 850,0 | 400,0 | 7,0 | 8,0 | | 5,6 | | | |

| | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|---------|---------|-----|-------|-------|-------|-----|-----|-------|-----|----------------|--------------|--|
| Tee SR5-1 | | | | | | | | | 0,8 | | 23,61 | | |
| G-H | 1 000,0 | 510,0 | 1,6 | 315,0 | 300,0 | 300,0 | 7,0 | 6,0 | | 9,6 | | | |
| G-I | 2 000,0 | 1 020,0 | 1,8 | 400,0 | 350,0 | 400,0 | 8,0 | 5,0 | | 9 | | | |
| Transición SR4-1 | | | | | | | | | 1,036 | | 30,58 | | |
| I-J | 1 000,0 | 510,0 | 1,6 | 315,0 | 300,0 | 300,0 | 7,0 | 6,0 | | 9,6 | | | |
| Difusor JS | | | | | | | | | | | 3,98144 | | |
| Caída de presión | | | | | | | | | | | 276,8 | 1,112 | |
| Factor de seguridad | | | | | | | | | | | 20% | 20% | |
| Caída de presión total | | | | | | | | | | | 332,154 | 1,334 | |

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

Tabla 22. Dimensionamiento y cálculo de caída de presión para recinto baños del edificio administrativo

| Recinto | Baños administrativos | | | Material | P3 | Diseño | R. Cascante | | | | | | |
|----------------------|-----------------------|-----|----------------------|--------------------|----------------------|--------|----------------|----------|-----------|----------------------------|--------------------------------|--------------|---------------------|
| Ubicación | Ochomogo, Cartago | | | | | Reviso | Ing. D. Trejos | | | | | | |
| Tramo/ Accesorio | Caudal | | Fricción en conducto | Diámetro requerido | Ductos rectangulares | | Velocidad | Longitud | Accesorio | Caída de presión en tramos | Caída de presión en accesorios | Ruta crítica | |
| | CFM | L/s | Pa/m | mm | a (mm) | b (mm) | m/s | m | C | Pa | Pa | Pa | in H ₂ O |
| Baños Hombres | | | | | | | | | | | | | |
| A-B | 300 | 153 | 1,5 | 200 | 200 | 200 | 4 | 1,5 | | 2,25 | | 2,250 | 0,009 |
| Tee SR5-15 | | | | | | | | | 0,5 | | 4,82 | 4,819 | 0,019 |
| Desviación 1 | | | | | | | | | | | | | |
| Codo 90°CR3-1 | | | | | | | | | 1,2 | | 1,04 | | |
| B-E | 100 | 51 | 0,15 | 200 | 200 | 200 | 1,2 | 3 | | 0,45 | | | |
| Desviación 2 | | | | | | | | | | | | | |
| Codo 90°CR3-1 | | | | | | | | | 1,2 | | 6,51 | 6,51 | 0,026 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|-----|------|------|-----|-------|-----|-----|-----|-----|-------|-----------------------------------|--------|-------|
| B-C | 200 | 102 | 0,7 | 200 | 200 | 200 | 3 | 2 | | 1,4 | | 1,400 | |
| B-D | 50 | 25,5 | 0,15 | 200 | 200 | 200 | 1,2 | 2,5 | | 0,375 | | 0,375 | |
| Rejilla de intemperie | | | | | | | | | | | 37,33 | 37,326 | 0,150 |
| Rejilla RA | | | | | | | | | | | 4,98 | 4,977 | 0,020 |
| | | | | | | | | | | | Caída de presión | 57,652 | 0,22 |
| | | | | | | | | | | | Factor de seguridad | 20% | 20% |
| | | | | | | | | | | | Caída de presión total | 69,182 | 0,269 |
| Baños Mujeres | | | | | | | | | | | | | |
| A-B | 300 | 153 | 1,5 | 200 | 200 | 200 | 4 | 1,5 | | 2,25 | | 2,250 | 0,009 |
| Tee SR5- 15 | | | | | 457,2 | | | | 0,5 | | 4,82 | 4,819 | 0,019 |
| Desviación 1 | | | | | | | | | | | | | |
| Codo 90°CR3-1 | | | | | | | | | 1,2 | | 1,04 | | |
| B-E | 100 | 51 | 0,15 | 200 | 200 | 200 | 1,2 | 3 | | 0,45 | | | |
| Desviación 2 | | | | | | | | | | | | | |
| Codo 90°CR3-1 | | | | | | | | | 1,2 | | 6,51 | 6,51 | 0,026 |
| B-C | 200 | 102 | 0,7 | 200 | 200 | 200 | 3 | 2 | | 1,4 | | 1,400 | |
| B-D | 50 | 25,5 | 0,15 | 200 | 200 | 200 | 1,2 | 2,5 | | 0,375 | | 0,375 | |
| Rejilla de intemperie | | | | | | | | | | | 37,33 | 37,326 | 0,150 |
| Rejilla RA | | | | | | | | | | | 4,98 | 4,977 | 0,020 |
| | | | | | | | | | | | Caída de presión | 57,652 | 0,22 |
| | | | | | | | | | | | Factor de seguridad | 20% | 20% |
| | | | | | | | | | | | Caída de presión total | 69,182 | 0,269 |

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

Tabla 23. Dimensionamiento y cálculo de caída de presión para recinto cafetín del edificio administrativo

| Recinto | Cafetín | | | Material | P3 | | | Diseño | R. Cascante | | | | | |
|--------------------------|-------------------|------|-------------------------|-----------------------|----------------------|--------|-----------|----------|----------------|----------------------------------|--------------------------------------|--------------|---------------------|--------------|
| Ubicación | Ochomogo, Cartago | | | | | | | Revisó | Ing. D. Trejos | | | | | |
| Tramo/ Accesorio | Caudal | | Fricción en conducto | Diámetro requerido | Ductos rectangulares | | Velocidad | Longitud | Accesorio | Caída de presión en tramos | Caída de presión en accesorios | Ruta crítica | | |
| | CFM | L/s | Pa/m | mm | a (mm) | b (mm) | m/s | | C | Pa | Pa | Pa | in H ₂ O | |
| A-B | 180 | 76,5 | 1,1 | 200 | 200 | 200 | 3,5 | 3 | | 3,3 | | 3,300 | 0,013 | |
| Codo 90°CR3-1 | | | | | | | | | 0,2 | | 1,48 | 1,476 | 0,006 | |
| Rejilla de intemperie | | | | | | | | | | | 37,33 | 37,326 | 0,150 | |
| Rejilla RA | | | | | | | | | | | 4,98 | 4,977 | 0,020 | |
| | | | | | | | | | | | Caída de presión | | 47,079 | 0,19 |
| | | | | | | | | | | | Factor de seguridad | | 20% | 20% |
| | | | | | | | | | | | Caída de presión | | 56,494 | 0,227 |

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

4.4.2 Selección de equipos para sistema de ventilación

Con los valores de caudal y caída de presión en la ruta crítica de cada sistema de distribución (inyección y/o extracción) de aire, se procede a seleccionar los equipos. En la tabla 4.24 se observa la selección realizada de los tipos de ventiladores y sus valores de diseño.

Tabla 4.24. Selección de tipo de ventilador por sector en diseño

| Sector | Tipo de ventilador | | Volumen | Caída de presión |
|--------------------------------|--------------------|------------|----------|------------------|
| | Inyección | Extracción | L/s | Pa |
| Laboratorio general | De techo | - | 4 590 | 1,334 |
| Recintos de control de calidad | De techo | De techo | 1 053,15 | 0,561 |
| Área de lavado | Axial | Axial | 204 | 0,055 |
| Baños | Axial | Axial | 153 | 0,269 |
| Cafetín | Axial | Axial | 76,5 | 0,227 |

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

Una vez definidos los tipos de ventiladores a emplear se emplea el software “Caps”, de (Greenheck, 2018). En este se hace la selección de los equipos. Como se observa en la figura 4.2, el programa brinda para las mismas condiciones, varias opciones de selección.

| Model Name | Relative Cost | Operating Cost / Yr (USD) | Fan Speed (RPM) | Max Fan Speed (Selected) (RPM) | Max Fan Speed (RPM) | Min Speed (RPM) | Drive Loss (%) | Operating Power (hp) | Motor Size NEMA (hp) | Curb Cap Width (in.) | Curb Cap Length (in.) | Base Fan Weight (lb) | Inlet dBA (dB) | Inlet Sonnes | Best Lead Time | Fast Pass Available |
|------------|---------------|---------------------------|-----------------|--------------------------------|---------------------|-----------------|----------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|----------------|--------------|----------------|---------------------|
| RSF-180 | 1.00 | 1,108 | 848 | 903 | 903 | 240 | 3.9 | 5.42 | 7 1/2 | 46 | 46 | 593 | 75 | 25 | 5 Day | Yes |
| RSF-200 | 1.55 | 821 | 670 | 724 | 795 | 198 | 4.1 | 3.95 | 5 | 52 | 52 | 734 | 72 | 20 | 5 Day | Yes |

Fuente: (Greenheck, 2018)

Figura 4.2. Opciones de equipo por el programa "Caps" de GreenHeck

El software compara valores de precio de adquisición, costo de operación anual, ruido, entre otros. No obstante, se seleccionan los equipos por las curvas de operación, simultáneamente se considera el costo anual de operación y niveles de ruido. En el anexo 25 se observa el resumen, dado por el programa, de los equipos seleccionados y su correspondiente curva de operación.

En la tabla 4.25 se observa la selección de equipos para los diferentes sectores considerados. En esta tabla se observa el modelo seleccionado, su conexión y la cantidad de equipos necesarios.

Tabla 4.25. Selección de equipos para el sistema de ventilación

| Equipo | Volumen (L/s) | Caída de presión (Pa) | Motor (kW) | Modelo GreenHeck | Conexión | Cantidad |
|--------|---------------|-----------------------|------------|------------------|----------|----------|
| INY-01 | 4 590 | 1,334 | 6,7 | RSF-200-50 | 460/60/3 | 1 |
| INY-02 | 1 053 | 0,561 | 1,0 | RSF-100-7 | 460/60/3 | 1 |
| INY-03 | 204 | 0,055 | 0,3 | SQ-100-VG | 208/60/1 | 1 |
| EXT-01 | 1 053 | 0,384 | 0,4 | CUBE-161-3 | 460/60/3 | 1 |
| EXT-02 | 204 | 0,1 | 0,3 | SQ-100-VG | 208/60/1 | 1 |
| EXT-03 | 153 | 0,269 | 0,1 | SQ-80-VG | 208/60/1 | 4 |
| EXT-04 | 76,5 | 0,227 | 0,1 | SQ-75-VG | 208/60/1 | 2 |

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

Capítulo 5. Presupuesto del proyecto

En este capítulo se presenta el costo inicial total del diseño desarrollado a lo largo de este informe. Antes de poder ejecutar un proyecto se debe conocer cuánto dinero implica realizarlo. Una vez que se obtiene este valor se puede realizar los ajustes, de ser necesario, para que coincida con el valor de presupuesto de la obra.

A pesar de que el diseño presentado en este informe brinda una correcta solución a la necesidad descrita, puede que el mismo no se adapte al presupuesto establecido al proyecto y se deba realizar un cambio de equipos o bien un rediseño. Este proceso toma lugar en una etapa posterior y no se contempla entre los alcances del informe. Por tanto, se presenta el presupuesto necesario para ejecutar el diseño descrito.

En el capítulo anterior se determinan los equipos a emplear, su distribución y los componentes que complementan su funcionamiento. Se debe cotizar estos equipos y calcular el costo de compra, transporte, instalación y puesta en marcha. Además, se debe considerar el costo de elementos básicos no incluidos en los equipos como tuberías, cañuelas, soportes, ductos, rejillas, difusores, entre otros.

Para el desarrollo de este presupuesto se emplean las hojas de cálculo propias de la empresa AC Servicios, elaboradas por el asesor industrial el Ing. Diego Trejos Corea. Este es el sistema que emplea la empresa para el desarrollo de su actividad comercial y estimación de presupuestos.

Para el uso de estas plantillas se requieren los datos y estimaciones realizadas en el capítulo anterior. Por tanto, esta sección consiste solo en la presentación de los costos de cada sistema diseñado, ya sea de ventilación, de aire acondicionado de precisión o de aire acondicionado para confort térmico.

5.1 Consideraciones para el presupuesto

En el capítulo anterior se desarrolla el diseño de los sistemas requeridos para solucionar la necesidad de ventilación y de aire acondicionado de los edificios en estudio. El diseño contempla dimensionamiento de ductos, distancias en tuberías, ubicación y selección de los equipos. Sin embargo, el presupuesto final, es decir, costo total inicial de ejecución del proyecto, debe considerar otros elementos que no interfieren, directamente, con el concepto del diseño.

El presupuesto debe valorar costos asociados como mano de obra, equipos y la fabricación de los componentes requeridos. Una vez que se define el diseño, el primer paso es cotizar los equipos.

El trámite se realiza mediante proveedores y se selecciona la oferta con el precio más competitivo, es decir, el de menor costo que cumpla con las condiciones y características solicitadas.

En la mayoría de los casos, los equipos no se encuentran almacenados a nivel nacional y deben ser importados. En este escenario se debe considerar el tiempo de importación y los costos de transporte desde Estados Unidos hasta Costa Rica. Además, este costo debe incluir los impuestos acordados para la importación y los impuestos para poder reclamar el equipo de aduanas en el país.

Una vez seleccionado y cotizados los equipos se debe calcular los elementos que complementan su funcionamiento. Esto incluye el costo por tuberías de refrigeración, refrigerante, soportes, aislamiento, instalación, pruebas de arranque. Si el sistema requiere de ductos, se debe contemplar el costo de fabricación, instalación y soportes. También se debe calcular el costo por las bases de los equipos, el transporte de materiales, su instalación y prueba de funcionamiento.

Además, existen gastos a considerar según la particularidad del proyecto. Estos incluyen alquiler de grúas, andamios y viáticos para operarios. Los viáticos se contemplan en casos donde la instalación sea en sector alejado y requiera de varios días, por tanto, se deben cubrir los rubros de alimentación, transporte y hospedaje.

Por tanto, el presupuesto varía en función de las especificaciones de diseño. Por ejemplo, la empresa AC Servicios maneja dos tipos de cañuelas para las tuberías de refrigerante, una genérica y otra marca ARMAFLEX, ver anexo 30, de origen estadounidense. Acorde a la empresa, la primera opción cumple con el funcionamiento requerido, pero su material y rendimiento es inferior a la segunda opción. Es decir, si se desea un acabado de calidad, la empresa recomienda ARMAFLEX a un costo asociado mayor.

Esto ocurre igual para los soportes que pueden ser económicos estilo gaza tipo EMT o de mayor costo estilo STRUT marca B-Line, ver anexo 29. En este caso particular, la empresa recomienda para sistemas de calidad el segundo tipo, garantizando un mejor soporte y mayor durabilidad.

Para efectos de este presupuesto se trabaja con soportes B-Line y con cañuela ARMAFLEX. Las dimensiones de ductos y tuberías se presentan en el diseño y como se mencionó anteriormente, se emplea el sistema de la empresa para el cálculo de costos totales. Se realiza un presupuesto por sistema diseñado, se presenta un desglose y lo que incluye la instalación mecánica del mismo. La empresa RECOPE al ser estatal se encuentra exonerada de impuestos.

5.2 Presupuesto para sistema de aire acondicionado para confort térmico

El presupuesto desarrollado en esta sección corresponde al modelo del sistema VRV de marca DAIKIN. Se observa en a tabla 5.1 el desglose de costos para la adquisición y ejecución de este sistema.

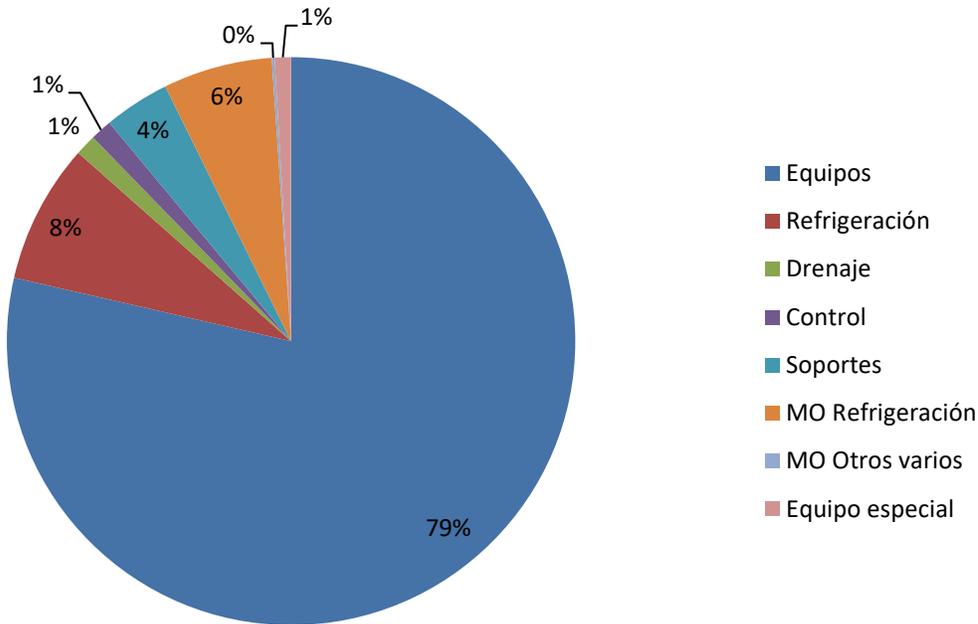
Como se observa en la gráfica 5.1, el mayor rubro del presupuesto consiste en la adquisición de los equipos. Este costo se justifica con el uso de solo cinco condensadoras y bajo la condición de que el sistema se adapta a la demanda de enfriamiento de cada recinto acondicionado. Como se fundamentó en el capítulo anterior.

Tabla 5.1 Desglose del presupuesto para aire acondicionado para confort térmico

| Elemento de diseño | CANTIDAD | UNIDAD DE MEDIDA | VENTA |
|---------------------------|-----------------|-------------------------|---------------------|
| Equipos | 1 | unidad | \$ 100 860,0 |
| Refrigeración | 317,6 | metro lineal | \$ 10 195,0 |
| Drenaje | 180 | metro lineal | \$ 1 540,0 |
| Control | 1 | lote | \$ 1 575,0 |
| Soportes | 1 | lote | \$ 4 805,0 |
| MO Refrigeración | 1 | lote | \$ 7 970,0 |
| MO Otros varios | 1 | lote | \$ 210,0 |
| Equipo especial | 1 | lote | \$ 1 185,0 |
| TOTAL | | | \$ 128 340,0 |

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

Gráfico 5.1. Distribución porcentual de los costos para el sistema de aire acondicionado para confort térmico



Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

La instalación mecánica incluye:

- Un lote de tuberías de cobre tipo-L, con cañuela tipo ARMAFLEX.
- Un lote de soportes tipo B-Line.
- Bases de soporte para los equipos.
- Suministro de refrigerante R410 ecológico.
- Un termostato por equipo.

5.2.1 Resumen del presupuesto para el sistema

Tabla 5.2. Resumen del presupuesto para aire acondicionado para confort térmico

| Presupuesto | |
|----------------------|-------------------|
| Equipos | \$ 100 860 |
| Instalación mecánica | \$ 27 420 |
| TOTAL | \$ 128 280 |

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

5.3 Presupuesto para sistema de aire acondicionado de precisión

El presupuesto de aire acondicionado de precisión, al igual para el de confort, presenta los equipos como rubro de costo mayor. Se puede observar en la gráfica 5.2 la diferencia de costo entre los equipos y las demás consideraciones del presupuesto.

Esto se debe a la cantidad y tipo de equipos empleados. Para un sistema de precisión se requieren equipos que puedan mantener las variables en rangos muy específicos, por tanto, requieren de sistemas internos de mayor eficiencia. La diferencia entre un equipo estándar y uno de precisión recae en sus materiales, acabados y rendimiento, por consecuencia, en el precio.

Es decir, no basta con que los equipos de precisión presenten por si mismos un precio elevado de adquisición, sino que el diseño requiera varios de ellos.

Sin embargo, como se presentó en el capítulo anterior, las cargas de enfriamiento de estos recintos no se adaptan a la carga manejada a nivel comercial, lo que implica soluciones alternativas.

Debido a que la distribución del edificio está definida y no se puede alterar, se debe brindar precisión a los recintos bajo las condiciones establecidas en este informe. Esto significa, en términos monetarios, un costo elevado de adquisición.

Se presenta una solución con tres ruedas desecantes, dos equipos de precisión de 7,03 kW (2 ton) cada uno y con dos equipos Split tipo cassette inverter de 5,27 kW (1,5 ton) cada uno.

Al observar la cantidad de equipos, desde el presupuesto, se plantea realizar un rediseño en el recinto a acondicionar. Al no poder hacerlo, se debe cotizar el sistema que cumpla con los requisitos deseados para las condiciones deseadas.

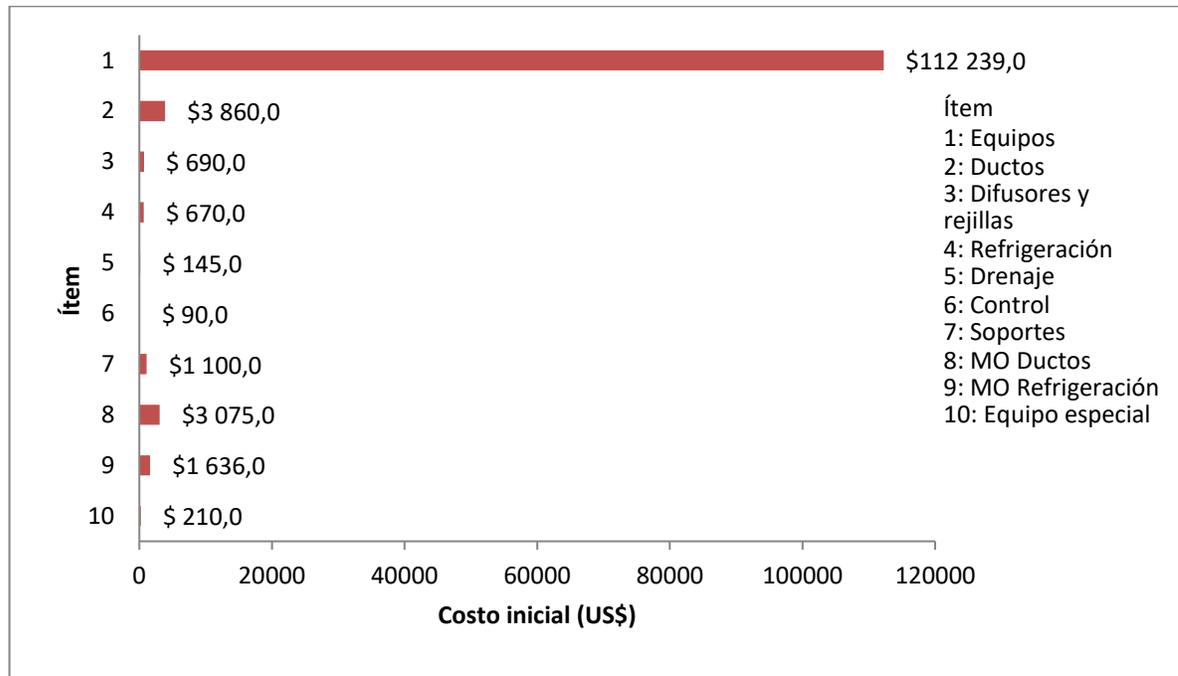
Queda a criterio del cliente si realiza cambios o compromete el funcionamiento de los recintos con tal de disminuir los costos de adquisición de los equipos para la precisión de los recintos.

Tabla 5.3. Desglose de presupuesto para aire acondicionado de precisión

| Elementos de diseño | CANTIDAD | UNIDAD DE MEDIDA | VENTA |
|----------------------------|-----------------|-------------------------|---------------------|
| Equipos | 6 | unidad | \$ 112 239,0 |
| Ductos | 105 | metro lineal | \$ 3 860,0 |
| Difusores y rejillas | 18 | unidad | \$ 690,0 |
| Refrigeración | 8 | metro lineal | \$ 670,0 |
| Drenaje | 12 | metro lineal | \$ 145,0 |
| Control | 1 | lote | \$ 90,0 |
| Soportes | 1 | lote | \$ 1 100,0 |
| MO Ductos | 1 | lote | \$ 3 075,0 |
| MO Refrigeración | 1 | lote | \$ 1 636,0 |
| Equipo especial | 1 | lote | \$ 210,0 |
| TOTAL | | | \$ 123 715,0 |

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

Gráfico 5.2. Distribución de los costos para el sistema de aire acondicionado de precisión



Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

La instalación mecánica incluye:

- Un lote de rejillas y difusores según diagramas.
- 51 láminas de ductos en P3 Ductal, dimensiones según diagramas.
- Un lote de tuberías de cobre tipo-L, con cañuela tipo ARMAFLEX.
- Un lote de soportes tipo B-Line.
- Bases de soporte para los equipos.
- Suministro de refrigerante R410 ecológico.
- Balance del sistema.

5.3.1 Resumen del presupuesto para el sistema

Tabla 5.4. Resumen del presupuesto para aire acondicionado de precisión

| Presupuesto | |
|--------------------|-------------------|
| Equipos | \$ 115 820 |
| Instalación | \$ 7 895 |
| TOTAL | \$ 123 715 |

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

5.4 Presupuesto para sistema de ventilación

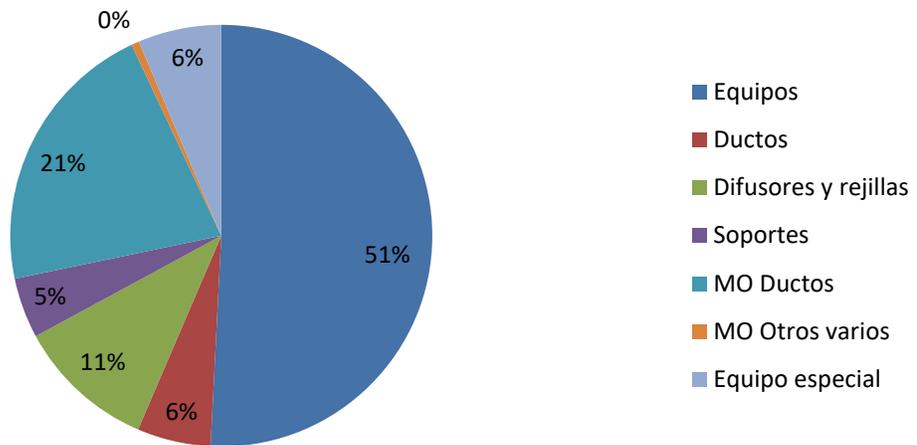
En la tabla 5.5 se presenta el desglose del presupuesto de ventilación. Acorde a la gráfica 5.3, los equipos representan un 51% del costo total del sistema. El dimensionamiento de ductos se realiza en P3 Ductal. El presupuesto contempla la instalación en el edificio de control de calidad y ambas plantas administrativas.

Tabla 5.5. Desglose de presupuesto para ventilación

| Elemento de diseño | CANTIDAD | UNIDAD DE MEDIDA | VENTA |
|---------------------------|-----------------|-------------------------|------------------|
| Equipos | 11 | Unidad | \$ 16 575 |
| Ductos | 1 | Lote | \$ 1 840 |
| Difusores y rejillas | 37 | Unidad | \$ 3 470 |
| Soportes | 1 | Lote | \$ 1 510 |
| MO Ductos | 1 | Lote | \$ 6 945 |
| MO Otros varios | 1 | Lote | \$ 195 |
| Equipo especial | 1 | lote | \$ 2 085 |
| TOTAL | | | \$ 32 620 |

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

Gráfico 5.3. Distribución porcentual de los costos para el sistema de ventilación



Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

La instalación mecánica incluye:

- Un lote de rejillas y difusores según diagramas.
- 71 láminas de ductos en P3, dimensiones según diagramas.
- Un lote de soportes tipo B-Line.
- Bases de soporte para los equipos.
- Balance del sistema.

Resumen del presupuesto para el sistema

Tabla 5.6. Resumen de presupuesto para ventilación

| Presupuesto | |
|--------------------|------------------|
| Equipos | \$ 16 575 |
| Instalación | \$ 16 045 |
| TOTAL | \$ 32 620 |

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

5.5 Presupuesto inicial total

| Presupuesto inicial total | |
|---|-------------------|
| Sistema aire acondicionado para confort térmico | \$ 128 280 |
| Sistema aire acondicionado de precisión | \$ 123 715 |
| Sistema de ventilación | \$ 32 620 |
| TOTAL | \$ 284 615 |

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

Notas:

- El presupuesto sólo contempla un 5% de gastos administrativos. Para efectos de este informe no se contempla la utilidad de la empresa. Este valor oscila entre un 10 a un 15 % del valor total del presupuesto.
- El presupuesto se encuentra libre de impuestos al ser RECOPE empresa estatal, de modo que recibe exoneración.
- No se incluye la instalación de fuerza eléctrica para los equipos ofrecidos, la cual debe de ser suministrada por el cliente a cero (0) metros.
- No se incluye obra eléctrica de ninguna índole.
- No se incluye obra civil de ninguna índole.
- Se consideran todos los trabajos de desinstalación y de instalación durante horario ordinario.
- Los equipos suministrados presentan garantía por el período de un año.
- No se incluye ningún servicio de mantenimiento.

5.5.1 Opcional: Mantenimiento preventivo

Como rubro opcional se presenta el costo de brindar mantenimiento preventivo a los equipos suministrado. Este mantenimiento se puede presentar en períodos mensuales, trimestrales o semestrales a conveniencia del cliente.

Los equipos no requieren de mayor intervención y su mantenimiento no debe ser invasivo. La empresa AC Servicios ofrece la siguiente lista de tareas a realizar en cada sesión de mantenimiento preventivo. Dicho mantenimiento se realiza para salvaguardar el correcto funcionamiento de los equipos y evitar grandes averías.

Tareas a realizar

- Limpieza de filtros de retorno de aire.
- Limpieza de bandeja de condensación,
- Limpieza de drenajes de condensación
- Verificación de sifón de drenaje.
- Limpieza de consola o unidad en su defecto de difusores y rejillas de retorno
- Limpieza de serpentín: Soplado, lavado.
- En algunos casos el bloqueo o incrustación del serpentín por suciedad se debe considerar como procedimiento de reparación y no de mantenimiento.
- Limpieza de turbinas del evaporador.
- Verificación de temperatura de suministro de caudal de aire.
- Verificación y diagnóstico de presencia de escarcha o congelamiento
- Verificación de uniformidad de llenado del serpentín.
- Verificación de arranque y corte de motores de turbinas por señal de termostato.
- Verificación de cambio de velocidades de motor de turbina.
- Verificación de termostato
- Verificación de recalentamiento de cables.

- Verificación y cambio de terminales recalentadas.
- Limpieza de motor de turbinas.
- Lubricación de motor de turbinas.
- Verificación de rotación eje de motor.
- Verificación de estado de anclaje.
- Verificación de balanceo y/o deformación de turbinas de evaporador.
- Verificación de temperatura o presencia de escarcha antes y después de filtro deshidratador.
- Verificación de instalación y protección de dispositivo de retardo de arranque.
- Verificación de estado físico y condición de tendido de tuberías.
- Verificación de anclajes y soportes.
- Verificación de declives.

Notas:

- Cualquier arreglo o intervención no incluida en la lista anterior se contempla como mantenimiento correctivo.
- La reposición de repuestos debe ser asumido por el cliente.
- Se debe entregar ubicación de válvulas, interruptores, planos u otro material de apoyo para facilitar el trabajo de los técnicos.
- Al final de cada mantenimiento preventivo se generará un reporte donde se diagnostica el estado del equipo. Si existe algún daño o se requiere de una reparación mayor se notifica al cliente. Dicha reparación no se incluye en este mantenimiento.

El presupuesto de mantenimiento preventivo se presenta en función del tipo de equipo y la cantidad de equipos a brindar servicio. La tabla 5.7 presenta los costos por mantenimiento de equipo según sistema. El mantenimiento se propone para ser ejecutado de forma trimestral y se ofrece por el período de garantía de un año.

Tabla 5.7. Presupuesto de mantenimiento preventivo

| Sistema | Equipo | Cantidad | Costo unitario | Costo total |
|-------------|--------------------|----------|-----------------------------|-------------|
| Confort VRV | Evaporadora | 30 | \$ 50,0 | \$1 500,0 |
| Confort VRV | Condensadora | 5 | \$ 75,0 | \$ 375,0 |
| Precisión | Inverter | 4 | \$ 50,0 | \$ 200,0 |
| Precisión | Rueda desecante | 3 | \$ 50,0 | \$ 150,0 |
| Precisión | Data Aire | 2 | \$ 150,0 | \$ 300,0 |
| Ventilación | Inyector/Extractor | 11 | \$ 25,0 | \$ 275,0 |
| | | | Costo total unitario | \$2 800,0 |
| | | | Costo total anual | \$11 200,0 |

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

Capítulo 6. Conclusiones y recomendaciones

6.1 Conclusiones

1. Se calculó la carga térmica y de ventilación requerida en cada recinto a climatizar.
2. Se seleccionaron los equipos de aire acondicionado para confort en función de la carga de enfriamiento.
3. Se seleccionaron los equipos de aire acondicionado de precisión en función de las especificaciones dadas.
4. Se seleccionaron los equipos de ventilación industrial en función de la curva de trabajo del ventilador.
5. No fue necesario seleccionar el sistema tuberías para refrigerante y condensado debido a que esta información se obtuvo por medio de uso de software y catálogos.
6. Se dimensionó el sistema de conductos en función de caída de presión y velocidad.
7. Se dibujaron los planos esquemáticos del diseño propuesto en el software Autodesk Auto Cad 2013
8. Se presupuestó el costo total inicial para la ejecución del proyecto.

6.2 Recomendaciones

1. Realizar una redistribución arquitectónica de los recintos acondicionados de precisión con tal emplear un solo equipo de precisión en una sola área que contemple los cuatro laboratorios. Esto a fin de reducir tanto costos de operación como de inversión inicial.
2. Instalar puertas automáticas en el laboratorio general de control de calidad para mantener el valor de presión positiva en 12,5 Pa (0,05 in cda).
3. Brindar mantenimiento preventivo a los equipos propuestos en el diseño.
4. Verificar que la extracción manual realizada en el recinto de presión y densidad del edificio laboratorio de metrología no se realice de forma continua y no se deje encendido.
5. Mantener la operación de los equipos en los valores de diseño. Para aire acondicionado para confort térmico a 23°C y 50%HR y para los equipos de aire acondicionado de precisión a 20°C y 50% HR.
6. Verificar que la filtración propuesta se adecuada para el funcionamiento de los laboratorios. De requerir mayor filtración considerar emplear filtros MERV 14.

Capítulo 7. Bibliografía

1. Armacell. (2008). *AP/Armaflex Tube Insulation*. Carolina del Norte, Estados Unidos: Microban Products Company.
2. ASHRAE. (2007). *HANDBOOK HVAC APPLICATIONS. Chapter 14: LABORATORIES. SI Edition*. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.
3. ASHRAE. (2007). *HANDBOOK HVAC APPLICATIONS. Chapter 16: Clean Spaces*. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.
4. ASHRAE. (2007). *POCKET GUIDE for air conditioning, Heating, Ventilation, Refrigeration (SI Edition)- Edición en Castellano*. S.L. España: Editorial El Instalador.
5. ASHRAE. (2009). *HANDBOOK FUNDAMENTALS Inch-Pound Edition*. Atlanta: American Society of Heting, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.
6. Bry-Air. (2010). *Maintenance Guide to your FFB Compact desiccant Dehumidifier*. Bry-Air (Asia).
7. Carrier, C. A. (1999). *Manual de aire acondicionado*. Barcelona: Editorial Marcombo.
8. Carrier, C. A. (N.I.). *Handbook of Air Conditioning System Design*. New york, N.Y.: McGraw Hill Book Company.
9. Cooper. (s f.). *Pipe Clamps & Hangers*. Cooper B-line.

10. Daikin. (2015). *Daikin VRV IV Bomba de calor 60Hz*. Belgica: Daikin.
11. DAIKIN. (2017). *Catalogo VRV IV Series*. DAIKIN.
12. Ductal, P. (1999). *Manual Técnico*.
13. Europe, D. (15 de 02 de 2018). *Xpress Selection DataBase*. Belgica: Daikin Europe.
14. GreenHeck. (2007). *Fundamentos de ventilación*. Schofield: Greenheck Fan Corp.
15. Greenheck. (2018). *CAPS-Engineer*. Greenheck Fan Corporation.
16. Inc., D. A. (2013). *Data Temp Systems Air Cooled 2,3,4 and 5 ton R-410A*. California, Estados Unidos: CD Group of Companies.
17. Miranda, A. (1999). *Enciclopedia de la Climatización: Aire acondicionado*. Perú: Grupo Editorial Ceac, S.A.
18. Pita, E. (2002). *Acondicionamiento de Aire. Principios y Sistemas*. México: Compañía Editorial Continental S.A.
19. Royo, E. (1998). *Ventilación Industrial: Cálculos y aplicaciones*. Madrid: Editorial Paraninfo.
20. Schweitzer, G. (1974). *Curso completo de aire acondicionado. Volúmenes 1 y 2*. Buenos Aires: Editorial Glem S.A.

21. Tricomi, E. (1992). *ABC del aire acondicionado*. Barcelona: Marcombo S.A.

22. Withman, B., & Silberstein, E. (2010). *Tecnología de refrigeración y aire acondicionado*. México, D.F.: Cengage Learning Editores S.A.

Apéndice

Apéndice 1. Plantilla para cálculo de la carga de enfriamiento

| Datos de entrada generales para el recinto | | |
|--|---------|-------------------|
| Recinto | | |
| Hora definida (24h) | | h |
| Región | | |
| Aplicación del recinto | | |
| Actividad | | |
| Cantidad de personas | | |
| Lugar a iluminar | | |
| Cambios de aire | Indicar | |
| | | m ³ /h |
| Dimensiones | | |
| Largo | | m |
| Ancho | | m |
| Alto | | m |
| Área | | m ² |
| Extra | 0 | m ² |
| Área total | | m ² |

Cálculo de la carga de enfriamiento

Cargas por estructura exterior

Carga en techos planos

Datos de entrada

| | | |
|-------------------------|--|--------------------------|
| Hora definida (24h) | | h |
| Región | | |
| Temperatura del recinto | | °C |
| Cielo raso suspendido | | |
| Material de techo plano | | |
| Techo | | |
| Tiene cielo raso | | |
| Largo del techo | | m |
| Ancho del techo | | m |
| CTC (U) | | BTU/h Ft ² °F |
| DTCE | | °F |
| DTCE Corregido | | °F |

| | | |
|---------|--|-------|
| Q techo | | BTU/h |
|---------|--|-------|

Carga en paredes externas

Datos de entrada

| | | |
|-------------------------|------------------------|--------------------------|
| Material de la pared | | |
| Pared de color | | |
| Temperatura del recinto | | °C |
| CTC (U) | | BTU/h Ft ² °F |
| Orientación de la pared | Ancho (m) | Alto (m) |
| N | | |
| NE | | |
| E | | |
| SE | | |
| S | | |
| SO | | |
| O | | |
| NO | | |
| Orientación de la pared | Área (m ²) | Área (ft ²) |
| N | | |
| NE | | |
| E | | |
| SE | | |
| S | | |
| SO | | |
| O | | |
| NO | | |
| Q paredes externas | | BTU/h |

Carga en vidrios externos

Datos de entrada

| | | |
|-------------------------|-----------|--------------------------|
| Posición de vidrio | | |
| Tipo de vidrio | | |
| Temperatura del recinto | | °C |
| CTC (U) | | BTU/h Ft ² °F |
| Orientación del vidrio | Ancho (m) | Alto (m) |
| N | | |
| NE | | |
| E | | |

| | | |
|------------------------|------------------------|-------------------------|
| SE | | |
| S | | |
| SO | | |
| O | | |
| NO | | |
| Orientación del vidrio | Área (m ²) | Área (ft ²) |
| N | | |
| NE | | |
| E | | |
| SE | | |
| S | | |
| SO | | |
| O | | |
| NO | | |
| Q vidrios externos | | BTU/h |

Cargas por conducción a través de la estructura interior

Datos de entrada

Puertas

| | | |
|---------------------------|------------------------|--------------------------|
| Estado | | |
| Temperatura recinto | | °C |
| Temperatura recinto anexo | | °C |
| Cantidad | | |
| | Ancho (m) | Largo (m) |
| Dimensiones | | |
| Área (m ²) | Área (m ²) | Área (ft ²) |
| | | |
| Material | | |
| CTC (U) | | BTU/h Ft ² °F |
| Q puertas | | BTU/h |

Piso superior

| | | |
|---------------------------|------------------------|-------------------------|
| Estado | | |
| Temperatura recinto anexo | | °C |
| Temperatura recinto | | °C |
| Dimensiones | Ancho (m) | Largo (m) |
| | | |
| Área | Área (m ²) | Área (ft ²) |
| | | |
| Material | | |

| | | |
|---------------------------|------------------------|--------------------------|
| CTC (U) | | BTU/h Ft ² °F |
| Q Piso superior | | BTU/h |
| Piso inferior | | |
| Estado | | |
| Temperatura recinto anexo | | °C |
| | | |
| Temperatura recinto | | °C |
| Dimensiones | Ancho (m) | Largo (m) |
| | | |
| Área | Área (m ²) | Área (ft ²) |
| | | |
| Material | | |
| CTC (U) | | BTU/h Ft ² °F |
| Q Piso inferior | | BTU/h |

Recintos aledaños

| | | |
|---------------------|--|----|
| Temperatura recinto | | °C |
|---------------------|--|----|

Recinto #1

| | | |
|---------------------------|------------------------|--------------------------|
| Estado | | |
| Temperatura recinto anexo | | °C |
| Material Pared | | |
| CTC (U) | | BTU/h Ft ² °F |
| Dimensiones | Ancho (m) | Largo (m) |
| | | |
| Área | Área (m ²) | Área (ft ²) |
| | | |
| Q Recinto 1 | | BTU/h |

Recinto #2

| | | |
|---------------------------|------------------------|--------------------------|
| Estado | | |
| Temperatura recinto anexo | | °C |
| | | |
| Material Pared | | |
| CTC (U) | | BTU/h Ft ² °F |
| Dimensiones | Ancho (m) | Largo (m) |
| | | |
| Área | Área (m ²) | Área (ft ²) |
| | | |

| | | |
|-------------|--|-------|
| Q Recinto 2 | | BTU/h |
|-------------|--|-------|

Recinto #3

| | | |
|---------------------------|------------------------|--------------------------|
| Estado | | |
| Temperatura recinto anexo | | °C |
| | | |
| Material Pared | | |
| CTC (U) | | BTU/h Ft ² °F |
| Dimensiones | Ancho (m) | Largo (m) |
| | | |
| Área | Área (m ²) | Área (ft ²) |
| | | |
| Q Recinto 3 | | BTU/h |

Recinto #4

| | | |
|---------------------------|------------------------|--------------------------|
| Estado | | |
| Temperatura recinto anexo | | °C |
| | | |
| Material Pared | | |
| CTC (U) | | BTU/h Ft ² °F |
| Dimensiones | Ancho (m) | Largo (m) |
| | | |
| Área | Área (m ²) | Área (ft ²) |
| | | |
| Q Recinto 4 | | BTU/h |

| | | |
|------------------|--|-------|
| Q Recinto aldaño | | BTU/h |
|------------------|--|-------|

Cargas por radiación solar a través de los vidrios

Datos de entrada

| | | |
|------------------------|--|--------------------------|
| Cantidad | | |
| Vidrio | | |
| Tipo de vidrio | | |
| Con sombreado | | |
| Tipo de sombreado | | |
| Tono | | |
| Orientación del vidrio | | |
| Tipo de construcción | | |
| Hora definida | | h |
| FGCS | | BTU/h Ft ² °F |

| | | |
|-------------|------------------------|-------------------------|
| CS | | |
| FCE | | °F |
| Dimensiones | Ancho (m) | Largo (m) |
| | | |
| Área | Área (m ²) | Área (ft ²) |
| | | |
| Q ventana | | 0 BTU/h |

Cargas por iluminación

Datos de entrada

| | | |
|--------------------|------------------------|-------------------------|
| Lugar a iluminar | | |
| Tipo de iluminaria | | |
| Potencia (kW) | | No indica |
| Datos del lugar | | |
| Área | Área (m ²) | Área (ft ²) |
| | | |

| | | |
|--------------|--|-------|
| Q luminarias | | BTU/h |
|--------------|--|-------|

Cargas por personas

Datos de entrada

| | | |
|---------------------------|--|-------------|
| Cantidad de personas | | |
| Actividad | | |
| El equipo de A/A se apaga | | |
| Horas de A/A con personal | | De 2 a 18 h |
| Horas de A/A sin personal | | |
| Q sensible | | BTU/h |
| Q latente | | BTU/h |

| | | |
|------------|--|-------|
| Q personas | | BTU/h |
|------------|--|-------|

Cargas por equipos

Datos de entrada

Motores

| | | |
|-----------|--|-------|
| Tipo | | |
| Caballaje | | |
| Cantidad | | |
| Calor | | BTU/h |

Equipos

| Cantidad | Equipo | Calor (BTU/h) |
|----------|--------|---------------|
| | | |

| | | |
|-----------|--|-------|
| Q equipos | | BTU/h |
|-----------|--|-------|

Transferencia de calor a los alrededores**Datos de entrada** Solo hacia los alrededores

| | | |
|-------------------------|------------------------|-------------------------|
| Paredes con el exterior | | |
| Área | Área (m ²) | Área (ft ²) |
| | | |
| Vidrios con el exterior | | |
| Área | Área (m ²) | Área (ft ²) |
| | | |
| k | | |
| Factor de corrección | | |

Pérdida en ductos**Datos de entrada**

| | | |
|----------------------|--|----|
| % de fugas en ductos | | 5% |
|----------------------|--|----|

Aire fresco**Por personas**

| | | |
|---------------|--|--|
| Cantidad | | |
| cfm/persona | | |
| CFM (persona) | | |

Por área

| | | |
|--------------------|--|--|
| Área | | |
| cfm/m ² | | |
| CFM (área) | | |

Infiltración

| | | |
|--------------------------|--|--|
| Por puertas | | |
| Uso de puertas | | |
| ft ³ /persona | | |
| CFM x puertas | | |
| Tipo de recinto | | |
| Recinto con | | |
| Volumen del recinto | | |

| | | |
|--------------------------|--|-------|
| CFM (cambio de aire) | | |
| Temperatura exterior | | °F |
| Temperatura interior | | °F |
| Relación humedad externa | | gr/lb |
| Relación humedad interna | | gr/lb |

| | | |
|------------|--|-------|
| Q sensible | | BTU/h |
| Q latente | | BTU/h |

| | | |
|------------------------------|--|-------|
| Q Aire fresco e infiltración | | BTU/h |
|------------------------------|--|-------|

Factor de seguridad %

| | | |
|---------|--|-------|
| Q total | | BTU/h |
|---------|--|-------|

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

Apéndice 2. Plantilla para cálculo de la carga de ventilación

| Plantilla de ventilación | |
|--|--|
| Caudal | |
| Aplicación | |
| Cambios mín. requeridos | |
| Cambios máx. requeridos | |
| Área del recinto | |
| Altura | |
| CFM máx. | |
| CFM mín. | |
| CFM indicados/sugeridos | |
| CFM seleccionados | |
| Ductería | |
| Metros lineales de ductos (ruta crítica) | |
| Cantidad de accesorios | |
| Factor de seguridad | |
| Cantidad de equipos | |
| Caída de presión estática | |
| Resumen por equipo | |
| | |

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

Apéndice 3. Diagrama de los sistemas desarrollados en el diseño

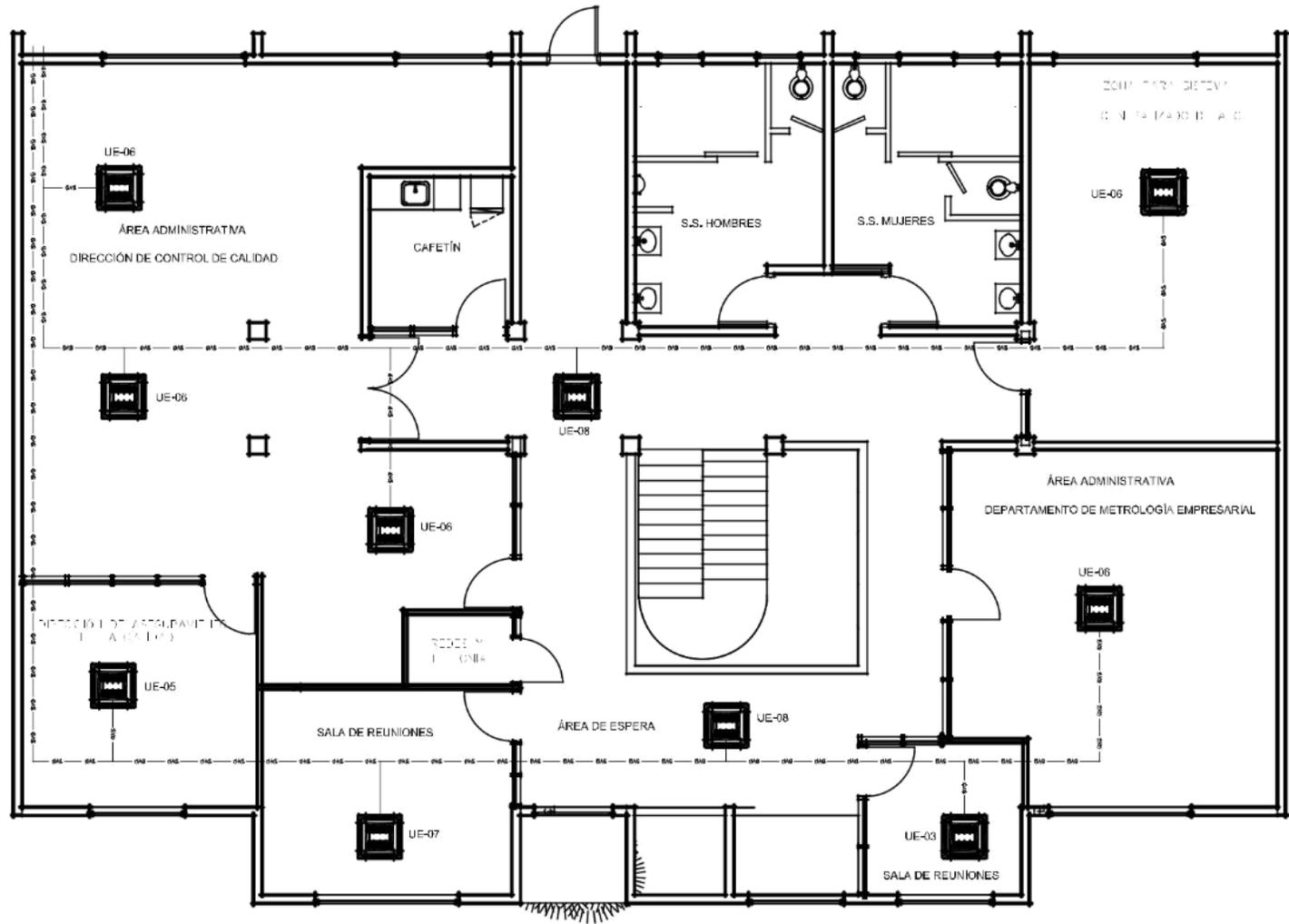
1. Diagrama sistema de aire acondicionado para confort en laboratorio de control de calidad.
2. Diagrama sistema de aire acondicionado para confort en edificio administrativo planta baja.
3. Diagrama sistema de aire acondicionado para confort en edificio administrativo planta alta.
4. Diagrama sistema de aire acondicionado para confort en laboratorio de metrología.
5. Diagrama sistema de ventilación en laboratorio de control de calidad.
6. Diagrama sistema de ventilación para confort en edificio de administración planta alta y baja.
7. Diagrama sistema de aire acondicionado para precisión en laboratorio de metrología.
8. Diagrama detalle y resumen de equipos.

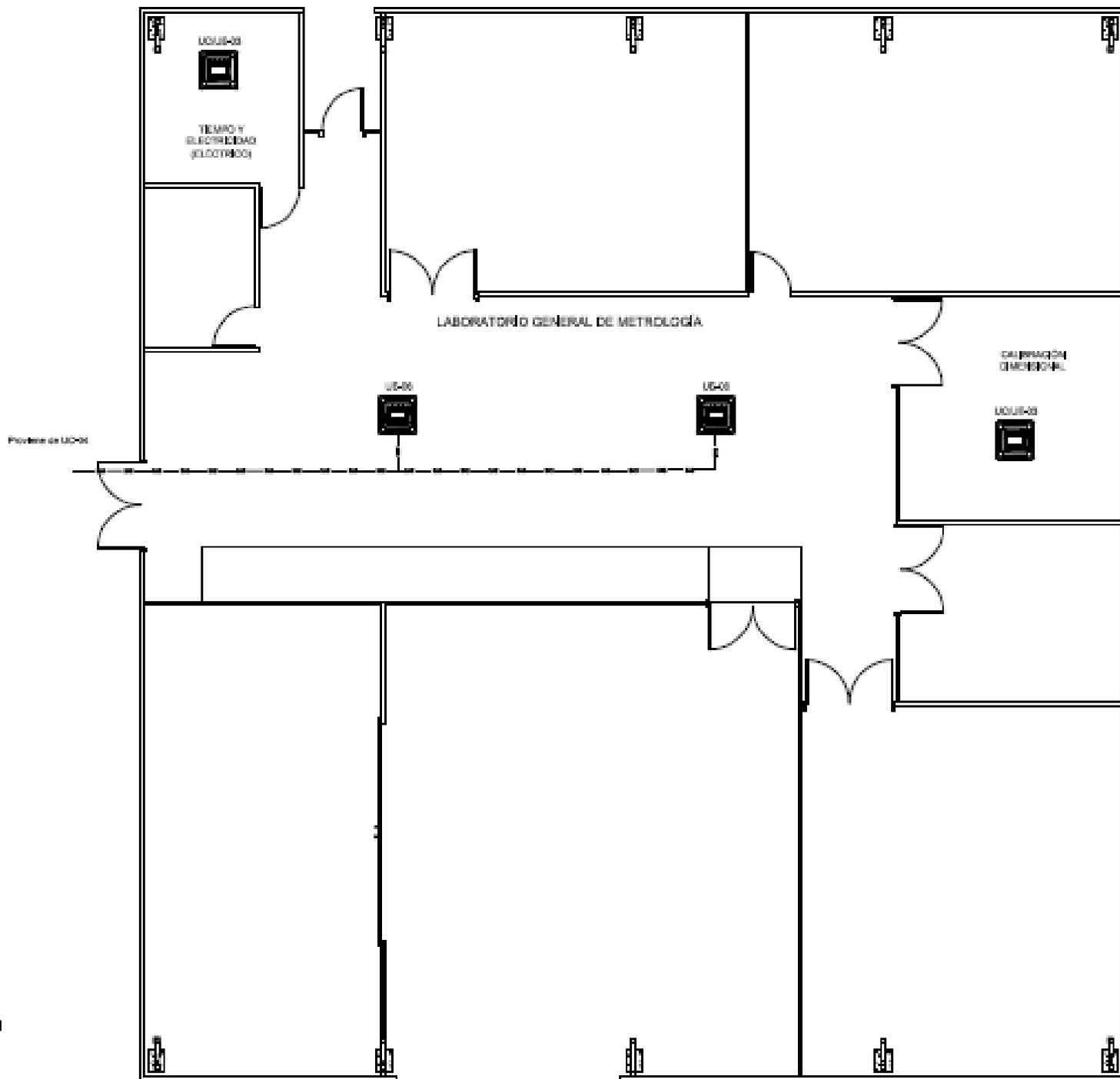
AC – Control de Calidad
2018-05-03
1:125

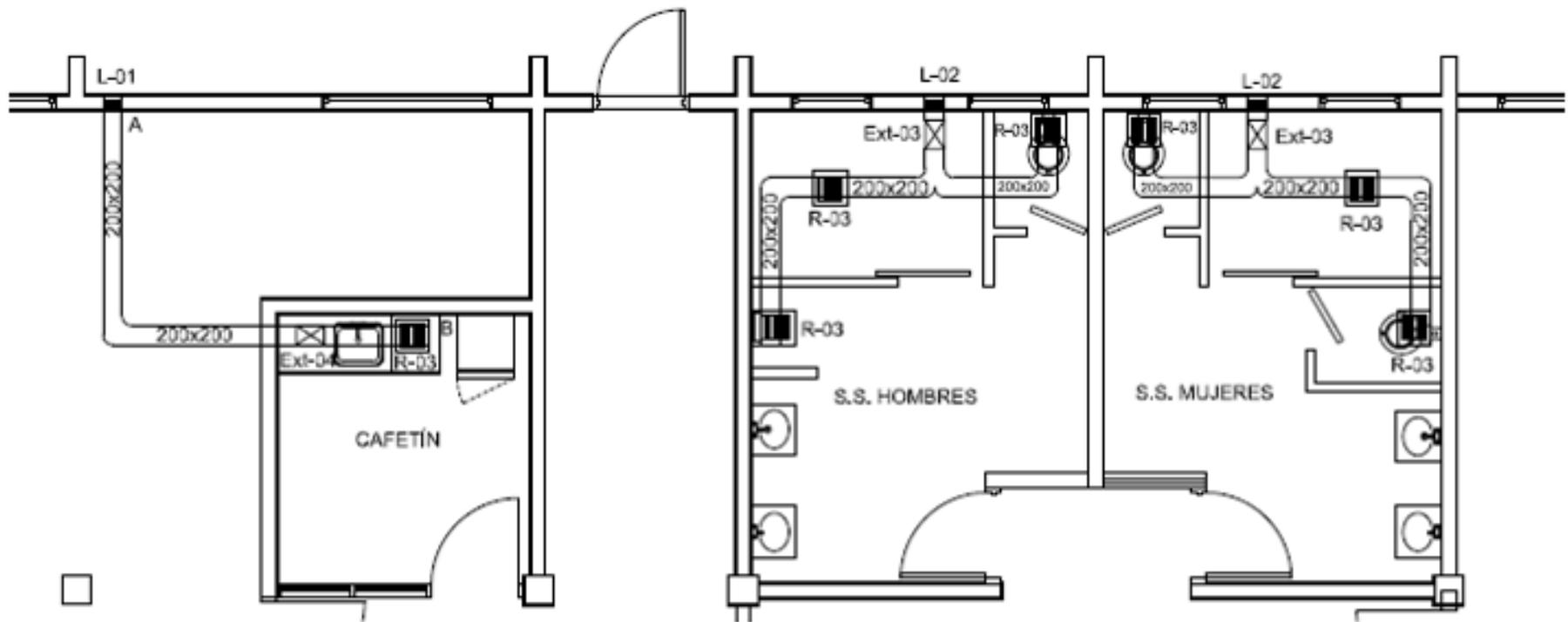


N ←

151

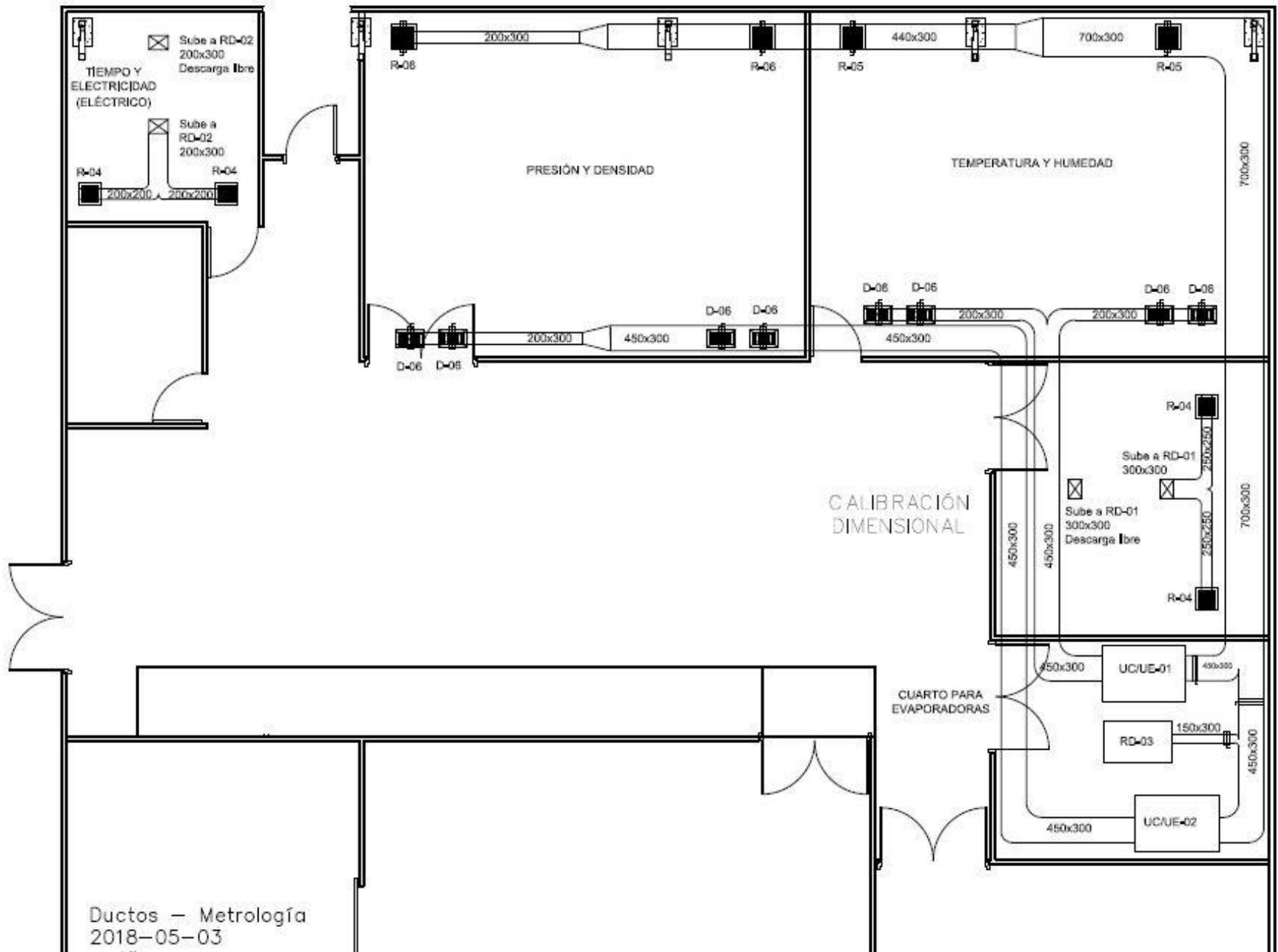




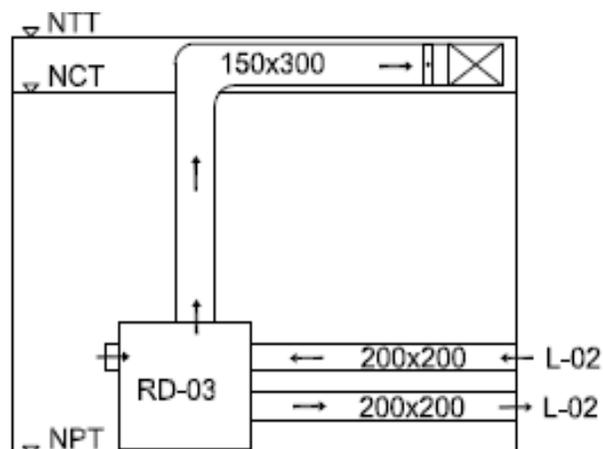


Vent Planta Baja y Alta.
 Baños y cafetín
 2018-05-02





Ductos - Metrología
2018-05-03



Detalle del equipo RD-03.
Acople al ducto de retorno para el equipo UC/UE-02.

| Difusores y rejillas | | | | | |
|---------------------------------|------------------|-----|----------|---------------------------|-----------------------------|
| Ítem | Dimensiones (mm) | | Cantidad | Modelo referencia | Especificaciones |
| | a | b | | | |
| Rejillas | | | | | |
| R-01 | 458 | 458 | 1 | RA de AirGuide | |
| R-02 | 356 | 356 | 1 | RA de AirGuide | |
| R-03 | 254 | 254 | 15 | RA de AirGuide | |
| R-04 | 305 | 305 | 5 | RA de AirGuide | |
| R-05 | 356 | 356 | 2 | RA de AirGuide | Damper enclavado a UC/UE-01 |
| R-06 | 356 | 356 | 2 | RA de AirGuide | Damper enclavado a UC/UE-02 |
| Difusores | | | | | |
| D-01 | 559 | 559 | 6 | JS(OB) 3 Vías de AirGuide | |
| D-02 | 559 | 559 | 4 | JS(OB) 2 Vías de AirGuide | |
| D-03 | 356 | 356 | 1 | JS(OB) 2 Vías de AirGuide | |
| D-04 | 254 | 254 | 1 | JS(OB) 2 Vías de AirGuide | |
| D-05 | 305 | 305 | 1 | JS(OB) 2 Vías de AirGuide | |
| D-06 | 356 | 204 | 8 | HV(OB) de AirGuide | |
| Rejillas para interperie | | | | | |
| L-01 | 254 | 254 | 2 | OL-2 de AirGuide | |
| L-02 | 305 | 305 | 6 | OL-2 de AirGuide | |

Detalle y especificaciones
2018-05-03

| Equipos para el sistema de ventilación | | | | | | |
|--|---------------|-----------------------|------------|------------------|----------|----------|
| Equipo | Volumen (l/s) | Caida de presión (Pa) | Motor (kW) | Modelo Greenheck | Conexión | Cantidad |
| INY-01 | 4590 | 1,334 | 6,7 | RSF-200-60 | 460/60/3 | 1 |
| INY-02 | 1053 | 0,561 | 1,0 | RSF-100-7 | 460/60/3 | 1 |
| INY-03 | 204 | 0,055 | 0,3 | SQ-100-VG | 208/60/1 | 1 |
| EXT-01 | 1053 | 0,384 | 0,4 | CUBE-161-3 | 460/60/3 | 1 |
| EXT-02 | 204 | 0,1 | 0,3 | SQ-100-VG | 208/60/1 | 1 |
| EXT-03 | 153 | 0,269 | 0,1 | SQ-80-VG | 208/60/1 | 4 |
| EXT-04 | 76,5 | 0,222 | 0,1 | SQ-75-VG | 208/60/1 | 2 |

| Equipos para el sistema de aire acondicionado modelo VRV | | | | | |
|--|---------------|--------------|----------|---------------|----------|
| Equipo | Capacidad (W) | Caudal (l/s) | Conexión | Modelo DAIKIN | Cantidad |
| UE-01 | 10376 | 602 | 220/60/1 | FXFSQ100AVE | 1 |
| UE-02 | 12937 | 750 | 220/60/1 | FXFSQ125AVE | 1 |
| UE-03 | 2579 | 150 | 220/60/1 | FXFSQ25AVE | 6 |
| UE-04 | 3371 | 196 | 220/60/1 | FXFSQ32AVE | 6 |
| UE-05 | 4146 | 240 | 220/60/1 | FXFSQ40AVE | 4 |
| UE-06 | 5041 | 292 | 220/60/1 | FXFSQ50AVE | 7 |
| UE-07 | 6741 | 391 | 220/60/1 | FXFSQ63AVE | 1 |
| UE-08 | 7415 | 430 | 220/60/1 | FXFSQ71AVE | 4 |

| Equipos para el sistema de aire acondicionado de precisión | | | | | |
|--|---------------|--------------|----------|------------------|----------|
| Equipo | Capacidad (W) | Caudal (l/s) | Conexión | Modelo DATA AIRE | Cantidad |
| UC/UE-01 | 7034 | 408 | 460/60/3 | DTADU-02 | 1 |
| UC/UE-02 | 7034 | 408 | 460/60/3 | DTADU-02 | 1 |

| Equipos de rueda desecante para control de humedad relativa | | | | | |
|---|--------------|-----|----------|----------------|----------|
| Equipo | Caudal (l/s) | %HR | Conexión | Modelo Bry-Air | Cantidad |
| RD-01 | 299,88 | 50 | 460/3/1 | FFB-1000 | 1 |
| RD-02 | 449,82 | 50 | 460/3/1 | FFB-1500 | 1 |
| RD-03 | 132,8 | 50 | 460/3/1 | FFB-600 | 1 |

| Equipos para sistema de aire acondicionado split tipo Cassette Inverter | | | | | |
|---|---------------|--------------|----------|-------------------|----------|
| Equipo | Capacidad (W) | Caudal (l/s) | Conexión | Modelo Lennox | Cantidad |
| UE/UC-03 | 5276 | 306 | 208/60/1 | LICH018 / LISH018 | 2 |

Anexos

Anexo 1. Diferencias de carga de enfriamiento por temperatura para techos

TABLE 6.1 COOLING LOAD TEMPERATURE DIFFERENCES (CLTD) FOR CALCULATING COOLING LOAD FROM FLAT ROOFS, F

| Roof No | Description of Construction | Weight, lb/ft ² | U-value, BTU/h-ft ² -°F | Solar Time | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Hour of Maximum CLTD | Minimum CLTD | Maximum CLTD | Difference CLTD |
|---------------------------|---|----------------------------|------------------------------------|------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----------------------|--------------|--------------|-----------------|
| | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | | | | |
| Without Suspended Ceiling | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | Steel sheet with 1-in. (or 2-in.) insulation | 7 (8) | 0.213 (0.124) | 1 | -2 | -3 | -3 | -5 | -3 | 6 | 19 | 34 | 49 | 61 | 73 | 74 | 79 | 77 | 70 | 59 | 45 | 30 | 18 | 12 | 8 | 5 | 3 | 14 | -3 | 79 | 84 |
| 2 | 1-in. wood with 1-in. insulation | 8 | 0.170 | 6 | 3 | 0 | -1 | -3 | -3 | -2 | 4 | 14 | 27 | 39 | 52 | 62 | 70 | 74 | 74 | 70 | 62 | 51 | 38 | 28 | 20 | 14 | 9 | 16 | -3 | 74 | 77 |
| 3 | 4-in. lightweight concrete | 18 | 0.213 | 9 | 5 | 2 | 0 | -2 | -3 | -3 | 1 | 9 | 20 | 32 | 44 | 55 | 64 | 70 | 73 | 71 | 66 | 57 | 45 | 34 | 25 | 18 | 13 | 16 | -3 | 73 | 76 |
| 4 | 2-in. heavyweight concrete with 1-in. (or 2-in.) insulation | 29 (0.122) | 0.206 | 12 | 8 | 5 | 3 | 0 | -1 | -1 | 3 | 11 | 20 | 30 | 41 | 51 | 59 | 65 | 66 | 66 | 62 | 54 | 43 | 36 | 29 | 23 | 17 | 16 | -1 | 67 | 68 |
| 5 | 1-in. wood with 2-in. insulation | 9 | 0.169 | 3 | 0 | -3 | -4 | -5 | -7 | -6 | -3 | 5 | 16 | 27 | 39 | 49 | 57 | 63 | 64 | 62 | 57 | 48 | 37 | 26 | 18 | 11 | 7 | 16 | -7 | 64 | 71 |
| 6 | 6-in. lightweight concrete | 24 | 0.158 | 22 | 17 | 13 | 9 | 6 | 3 | 1 | 3 | 7 | 15 | 23 | 33 | 43 | 51 | 58 | 62 | 64 | 62 | 57 | 50 | 42 | 35 | 28 | 18 | 1 | 64 | 69 | |
| 7 | 2.5-in. wood with 1-in. ins. | 13 | 0.130 | 28 | 24 | 20 | 16 | 13 | 10 | 7 | 6 | 6 | 9 | 13 | 20 | 27 | 34 | 42 | 48 | 53 | 55 | 56 | 54 | 49 | 44 | 39 | 34 | 19 | 6 | 56 | 50 |
| 8 | 8-in. lightweight concrete | 31 | 0.126 | 35 | 30 | 26 | 22 | 18 | 14 | 11 | 9 | 7 | 7 | 9 | 15 | 19 | 25 | 33 | 39 | 46 | 50 | 53 | 54 | 53 | 49 | 45 | 40 | 20 | 7 | 54 | 47 |
| 9 | 4-in. heavyweight concrete with 1-in. (or 2-in.) insulation | 52 (52) | 0.200 (0.120) | 25 | 22 | 18 | 15 | 12 | 9 | 8 | 8 | 10 | 14 | 20 | 26 | 35 | 40 | 46 | 50 | 53 | 53 | 52 | 48 | 43 | 38 | 34 | 30 | 18 | 8 | 53 | 45 |
| 10 | 2.5-in. wood with 2-in. ins. | 15 | 0.093 | 30 | 26 | 23 | 19 | 16 | 13 | 10 | 9 | 8 | 9 | 13 | 17 | 23 | 29 | 36 | 41 | 46 | 49 | 50 | 50 | 47 | 43 | 39 | 35 | 19 | 8 | 51 | 43 |
| 11 | Roof terrace system | 75 | 0.106 | 34 | 31 | 28 | 25 | 22 | 19 | 16 | 14 | 13 | 13 | 15 | 18 | 22 | 26 | 31 | 36 | 40 | 44 | 45 | 46 | 45 | 43 | 40 | 37 | 20 | 13 | 46 | 35 |
| 12 | 6-in. heavyweight concrete with 1-in. (or 2-in.) insulation | 75 (75) | 0.192 (0.117) | 31 | 28 | 25 | 22 | 20 | 17 | 15 | 14 | 14 | 16 | 18 | 22 | 26 | 31 | 36 | 40 | 43 | 45 | 45 | 44 | 42 | 40 | 37 | 34 | 19 | 14 | 45 | 31 |
| 13 | 4-in. wood with 1-in. (or 2-in.) insulation | 17 (18) | 0.106 (0.078) | 38 | 36 | 33 | 30 | 28 | 25 | 22 | 20 | 18 | 17 | 16 | 17 | 18 | 21 | 24 | 28 | 32 | 36 | 39 | 41 | 43 | 43 | 42 | 40 | 22 | 16 | 43 | 27 |

TABLE 6.1 COOLING LOAD TEMPERATURE DIFFERENCES (CLTD) FOR CALCULATING COOLING LOAD FROM FLAT ROOFS, F (Continued)

| Roof No | Description of Construction | Weight, lb/ft ² | U-value, BTU/h-ft ² -°F | Solar Time | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Hour of Maximum CLTD | Minimum CLTD | Maximum CLTD | Difference CLTD | |
|------------------------|---|----------------------------|------------------------------------|------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----------------------|--------------|--------------|-----------------|----|
| | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | | | | | |
| With Suspended Ceiling | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | Steel sheet with 1-in. (or 2-in.) insulation | 9 (10) | 0.134 (0.092) | 2 | 0 | -2 | -3 | -4 | -4 | -1 | 9 | 23 | 37 | 50 | 62 | 71 | 77 | 78 | 74 | 67 | 56 | 42 | 28 | 18 | 12 | 8 | 5 | 15 | -4 | 78 | 82 | |
| 2 | 1-in. wood with 1-in. ins. | 10 | 0.115 | 20 | 15 | 11 | 8 | 5 | 3 | 2 | 3 | 7 | 13 | 21 | 30 | 40 | 48 | 55 | 60 | 62 | 61 | 58 | 51 | 44 | 37 | 30 | 25 | 17 | 2 | 62 | 60 | |
| 3 | 4-in. lightweight concrete | 20 | 0.134 | 10 | 14 | 10 | 7 | 4 | 2 | 0 | 0 | 4 | 10 | 19 | 29 | 38 | 46 | 52 | 56 | 62 | 65 | 64 | 61 | 54 | 46 | 38 | 30 | 24 | 17 | 6 | 65 | 65 |
| 4 | 2-in. heavyweight concrete with 1-in. insulation | 30 | 0.151 | 28 | 25 | 23 | 20 | 17 | 15 | 13 | 13 | 14 | 16 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 43 | 46 | 47 | 46 | 44 | 41 | 38 | 35 | 32 | 18 | 13 | 47 | 34 | |
| 5 | 1-in. wood with 2-in. ins. | 10 | 0.083 | 25 | 20 | 16 | 13 | 10 | 7 | 5 | 5 | 7 | 12 | 18 | 25 | 33 | 41 | 48 | 53 | 57 | 57 | 56 | 52 | 46 | 40 | 34 | 29 | 18 | 5 | 57 | 52 | |
| 6 | 6-in. lightweight concrete | 26 | 0.199 | 32 | 28 | 23 | 19 | 16 | 13 | 10 | 8 | 7 | 8 | 11 | 16 | 22 | 29 | 36 | 42 | 48 | 52 | 54 | 54 | 54 | 47 | 42 | 37 | 20 | 7 | 54 | 47 | |
| 7 | 2.5-in. wood with 1-in. insulation | 15 | 0.096 | 34 | 31 | 29 | 26 | 23 | 21 | 18 | 16 | 15 | 15 | 16 | 18 | 21 | 25 | 30 | 34 | 38 | 41 | 43 | 44 | 44 | 42 | 40 | 37 | 21 | 15 | 44 | 29 | |
| 8 | 8-in. lightweight concrete | 33 | 0.095 | 39 | 36 | 33 | 30 | 26 | 23 | 20 | 18 | 15 | 14 | 14 | 15 | 17 | 20 | 25 | 29 | 34 | 38 | 42 | 45 | 46 | 44 | 42 | 21 | 14 | 46 | 32 | | |
| 9 | 4-in. heavyweight concrete with 1-in. (or 2-in.) ins. | 53 (54) | 0.128 (0.090) | 30 | 29 | 27 | 26 | 24 | 22 | 21 | 20 | 20 | 21 | 22 | 24 | 27 | 29 | 32 | 34 | 36 | 38 | 38 | 38 | 37 | 36 | 34 | 33 | 19 | 20 | 38 | 18 | |
| 10 | 2.5-in. wood with 2-in. ins. | 15 | 0.072 | 35 | 35 | 30 | 28 | 26 | 24 | 22 | 20 | 18 | 18 | 18 | 20 | 22 | 25 | 28 | 32 | 35 | 38 | 40 | 41 | 41 | 40 | 39 | 37 | 21 | 18 | 41 | 23 | |
| 11 | Roof terrace system | 77 | 0.082 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 22 | 22 | 23 | 25 | 26 | 28 | 29 | 31 | 32 | 33 | 33 | 33 | 33 | 32 | 22 | 22 | 33 | 11 | | |
| 12 | 6-in. heavyweight concrete with 1-in. (or 2-in.) insulation | 77 (77) | 0.125 (0.088) | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 21 | 22 | 23 | 25 | 26 | 28 | 30 | 32 | 33 | 34 | 34 | 34 | 33 | 32 | 31 | 20 | 21 | 34 | 13 | |
| 13 | 4-in. wood with 1-in. (or 2-in.) insulation | 19 (20) | 0.082 (0.064) | 35 | 34 | 33 | 32 | 31 | 29 | 27 | 26 | 24 | 21 | 22 | 21 | 22 | 24 | 27 | 30 | 32 | 34 | 35 | 36 | 37 | 36 | 35 | 23 | 21 | 37 | 16 | | |

Reprinted with permission from the 1989 ASHRAE Handbook—Fundamentals.

Fuente: (Pita, 2002)

Anexo 2. Diferencias de carga de enfriamiento por temperatura para paredes

TABLE 6.2 COOLING LOAD TEMPERATURE DIFFERENCES (CLTD) FOR CALCULATING COOLING LOAD FROM SUNLIT WALLS, F

| North Latitude Wall Facing | Solar Time, h | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Hr of | | | |
|-------------------------------|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|---------|
| | 0100 | 0200 | 0300 | 0400 | 0500 | 0600 | 0700 | 0800 | 0900 | 1000 | 1100 | 1200 | 1300 | 1400 | 1500 | 1600 | 1700 | 1800 | 1900 | 2000 | 2100 | 2200 | 2300 | 2400 | CLTD | CLTD | CLTD | CLTD |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Maxi- | Mini- | Maxi- | Differ- |
| Group A Walls | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| N | 14 | 14 | 14 | 13 | 13 | 12 | 12 | 12 | 11 | 11 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 11 | 11 | 12 | 12 | 13 | 13 | 14 | 14 | 2 | 10 | 14 | 4 | |
| NE | 19 | 19 | 19 | 18 | 17 | 17 | 16 | 15 | 15 | 15 | 15 | 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 | 19 | 18 | 19 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 24 | 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 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 19 | 20 | 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 | 24 | 17 | 25 | 8 | |
| W | 27 | 27 | 26 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 19 | 18 | 18 | 18 | 19 | 20 | 22 | 23 | 25 | 26 | 26 | 26 | 24 | 18 | 27 | 9 | |
| NW | 21 | 21 | 21 | 20 | 20 | 19 | 19 | 18 | 17 | 16 | 16 | 15 | 15 | 14 | 14 | 14 | 15 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 1 | 14 | 21 | 7 |
| Group B Walls | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| N | 15 | 14 | 14 | 13 | 12 | 11 | 11 | 10 | 9 | 9 | 8 | 8 | 9 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 14 | 15 | 15 | 15 | 24 | 8 | 15 | 7 | |
| NE | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 19 | 20 | 20 | 21 | 21 | 21 | 20 | 20 | 21 | 12 | 21 | 9 |
| E | 23 | 22 | 21 | 20 | 18 | 17 | 16 | 15 | 15 | 15 | 17 | 19 | 21 | 22 | 24 | 25 | 26 | 26 | 27 | 27 | 26 | 26 | 25 | 24 | 20 | 15 | 27 | 12 |
| SE | 23 | 22 | 21 | 20 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 14 | 15 | 16 | 18 | 20 | 21 | 23 | 24 | 25 | 26 | 26 | 26 | 25 | 24 | 21 | 14 | 26 | 12 | |
| S | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 11 | 11 | 11 | 12 | 14 | 15 | 17 | 19 | 20 | 21 | 22 | 22 | 22 | 21 | 13 | 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 | 24 | 13 | 28 | 15 | |
| W | 29 | 28 | 27 | 26 | 24 | 23 | 21 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 14 | 15 | 17 | 19 | 22 | 25 | 27 | 29 | 29 | 30 | 34 | 14 | 30 | 16 | |
| NW | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 15 | 14 | 13 | 12 | 12 | 12 | 12 | 13 | 15 | 17 | 19 | 21 | 22 | 23 | 23 | 24 | 11 | 23 | 9 | | |
| Group C Walls | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 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 | 21 | 7 | 27 | 10 |
| NE | 19 | 17 | 16 | 14 | 13 | 11 | 10 | 10 | 11 | 13 | 15 | 17 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 22 | 20 | 18 | 12 | 30 | 13 |
| E | 22 | 21 | 19 | 17 | 15 | 14 | 13 | 12 | 12 | 14 | 16 | 19 | 22 | 25 | 27 | 29 | 29 | 30 | 30 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 24 | 18 | 32 | 18 |
| SE | 22 | 21 | 19 | 17 | 15 | 14 | 13 | 12 | 12 | 13 | 16 | 19 | 22 | 24 | 26 | 28 | 29 | 29 | 29 | 29 | 28 | 27 | 26 | 24 | 19 | 12 | 29 | 17 |
| S | 21 | 19 | 18 | 16 | 15 | 13 | 12 | 10 | 9 | 9 | 9 | 10 | 11 | 13 | 14 | 17 | 20 | 22 | 24 | 25 | 26 | 26 | 24 | 22 | 20 | 9 | 29 | 17 |
| SW | 29 | 27 | 25 | 23 | 20 | 18 | 16 | 15 | 13 | 12 | 11 | 11 | 11 | 13 | 15 | 18 | 22 | 26 | 29 | 32 | 33 | 33 | 32 | 31 | 22 | 11 | 33 | 22 |
| W | 31 | 29 | 27 | 25 | 22 | 20 | 18 | 16 | 14 | 13 | 12 | 12 | 12 | 13 | 14 | 16 | 20 | 24 | 29 | 32 | 35 | 35 | 35 | 33 | 22 | 12 | 35 | 23 |
| NW | 25 | 23 | 21 | 20 | 18 | 16 | 14 | 13 | 11 | 10 | 10 | 10 | 10 | 11 | 12 | 13 | 15 | 18 | 22 | 25 | 27 | 27 | 27 | 26 | 22 | 10 | 27 | 17 |
| Group D Walls | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| N | 13 | 13 | 12 | 10 | 9 | 7 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 7 | 8 | 10 | 12 | 13 | 15 | 17 | 18 | 19 | 19 | 19 | 18 | 16 | 21 | 6 | 19 | 13 |
| NE | 17 | 15 | 13 | 11 | 10 | 8 | 7 | 8 | 10 | 14 | 17 | 20 | 22 | 23 | 23 | 24 | 24 | 25 | 25 | 24 | 23 | 22 | 20 | 18 | 19 | 7 | 25 | 18 |
| E | 19 | 17 | 15 | 13 | 11 | 9 | 8 | 9 | 12 | 17 | 22 | 27 | 32 | 33 | 33 | 33 | 32 | 31 | 30 | 28 | 26 | 24 | 22 | 16 | 8 | 33 | 23 | |
| SE | 20 | 17 | 15 | 13 | 11 | 10 | 8 | 8 | 10 | 15 | 17 | 22 | 26 | 29 | 31 | 32 | 32 | 32 | 31 | 30 | 28 | 26 | 24 | 22 | 17 | 8 | 32 | 23 |
| S | 19 | 17 | 15 | 13 | 11 | 9 | 8 | 7 | 6 | 6 | 7 | 9 | 12 | 16 | 20 | 24 | 27 | 29 | 29 | 29 | 27 | 26 | 24 | 22 | 19 | 6 | 29 | 23 |
| SW | 28 | 25 | 22 | 19 | 16 | 14 | 12 | 10 | 9 | 8 | 8 | 8 | 10 | 12 | 16 | 21 | 27 | 32 | 36 | 38 | 38 | 37 | 34 | 31 | 21 | 8 | 38 | 30 |
| W | 31 | 27 | 24 | 21 | 18 | 15 | 13 | 11 | 10 | 9 | 9 | 9 | 10 | 11 | 14 | 18 | 24 | 30 | 36 | 40 | 41 | 40 | 38 | 34 | 21 | 9 | 41 | 32 |
| NW | 25 | 22 | 19 | 17 | 14 | 12 | 10 | 9 | 8 | 7 | 7 | 8 | 9 | 10 | 12 | 14 | 18 | 22 | 27 | 31 | 32 | 32 | 30 | 27 | 22 | 7 | 32 | 25 |
| Group E Walls | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| N | 12 | 10 | 8 | 7 | 5 | 4 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 9 | 11 | 13 | 15 | 17 | 19 | 20 | 21 | 21 | 20 | 18 | 16 | 14 | 20 | 3 | 22 | 19 |
| NE | 13 | 11 | 9 | 7 | 6 | 4 | 5 | 9 | 15 | 20 | 24 | 25 | 25 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 25 | 24 | 22 | 19 | 17 | 15 | 16 | 4 | 26 | 22 |
| E | 14 | 12 | 10 | 8 | 6 | 5 | 6 | 11 | 18 | 26 | 33 | 36 | 38 | 37 | 36 | 34 | 33 | 31 | 30 | 28 | 25 | 22 | 20 | 17 | 13 | 5 | 38 | 33 |
| SE | 15 | 12 | 10 | 8 | 7 | 5 | 5 | 8 | 12 | 19 | 25 | 31 | 35 | 37 | 37 | 36 | 34 | 33 | 31 | 28 | 26 | 23 | 20 | 17 | 15 | 5 | 37 | 32 |
| S | 15 | 12 | 10 | 8 | 7 | 5 | 4 | 3 | 4 | 5 | 9 | 13 | 19 | 24 | 29 | 32 | 34 | 33 | 31 | 29 | 26 | 23 | 20 | 17 | 17 | 3 | 34 | 31 |
| SW | 22 | 18 | 15 | 12 | 10 | 8 | 6 | 5 | 5 | 6 | 7 | 9 | 12 | 18 | 24 | 32 | 38 | 43 | 45 | 44 | 40 | 35 | 30 | 26 | 19 | 5 | 42 | 40 |
| W | 25 | 21 | 17 | 14 | 11 | 9 | 7 | 6 | 6 | 6 | 7 | 9 | 11 | 14 | 20 | 27 | 36 | 43 | 49 | 49 | 45 | 40 | 34 | 29 | 20 | 6 | 49 | 45 |
| NW | 20 | 17 | 14 | 11 | 9 | 7 | 6 | 5 | 5 | 5 | 6 | 8 | 10 | 13 | 16 | 20 | 26 | 32 | 37 | 38 | 36 | 32 | 28 | 24 | 20 | 5 | 38 | 33 |
| Group F Walls | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| N | 8 | 6 | 5 | 3 | 2 | 1 | 2 | 4 | 6 | 7 | 9 | 11 | 14 | 17 | 19 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 |
| NE | 9 | 7 | 5 | 3 | 2 | 1 | 5 | 14 | 23 | 28 | 30 | 29 | 28 | 27 | 27 | 27 | 27 | 26 | 24 | 22 | 19 | 16 | 13 | 11 | 11 | 1 | 30 | 29 |
| E | 10 | 7 | 6 | 4 | 3 | 2 | 6 | 17 | 28 | 38 | 44 | 48 | 43 | 39 | 36 | 34 | 32 | 30 | 27 | 24 | 21 | 17 | 15 | 12 | 12 | 2 | 45 | 43 |
| SE | 10 | 7 | 6 | 4 | 3 | 2 | 4 | 10 | 19 | 28 | 36 | 41 | 43 | 42 | 39 | 36 | 34 | 31 | 28 | 25 | 21 | 18 | 15 | 12 | 13 | 2 | 45 | 41 |
| S | 10 | 8 | 6 | 4 | 3 | 2 | 1 | 1 | 3 | 7 | 13 | 20 | 27 | 34 | 38 | 39 | 38 | 35 | 31 | 26 | 22 | 18 | 15 | 12 | 16 | 1 | 39 | 38 |
| SW | 15 | 11 | 9 | 6 | 5 | 3 | 2 | 2 | 4 | 5 | 8 | 11 | 17 | 26 | 35 | 44 | 50 | 53 | 52 | 45 | 37 | 28 | 23 | 18 | 12 | 5 | 53 | 48 |
| W | 17 | 13 | 10 | 7 | 5 | 4 | 3 | 3 | 4 | 6 | 8 | 11 | 14 | 20 | 28 | 39 | 49 | 57 | 60 | 54 | 43 | 34 | 27 | 21 | 19 | 3 | 60 | 57 |
| NW | 14 | 10 | 8 | 6 | 4 | 3 | 2 | 2 | 3 | 5 | 8 | 10 | 13 | 15 | 21 | 27 | 35 | 42 | 46 | 43 | 35 | 28 | 22 | 18 | 19 | 2 | 46 | 44 |
| Group G Walls | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| N | 3 | 2 | 1 | 0 | -1 | 2 | 7 | 8 | 9 | 12 | 15 | 18 | 21 | 23 | 24 | 24 | 25 | 26 | 22 | 15 | 11 | 9 | 7 | 5 | 18 | -1 | 26 | 27 |
| NE | 3 | 2 | 1 | 0 | -1 | 9 | 27 | 36 | 39 | 35 | 30 | 26 | 26 | 27 | 27 | 26 | 25 | 22 | 18 | 14 | 11 | 9 | 7 | 5 | 9 | -1 | 39 | 40 |
| E | 4 | 2 | 1 | 0 | -1 | 11 | 31 | 47 | 54 | 55 | 50 | 40 | 33 | 31 | 30 | 29 | 27 | 24 | 19 | 15 | 12 | 10 | 8 | 6 | 10 | -1 | 55 | 56 |
| SE | 4 | 2 | 1 | 0 | -1 | 5 | 18 | 32 | 42 | 49 | 51 | 48 | 42 | 36 | 32 | 30 | 27 | 24 | 19 | 15 | 12 | 10 | 8 | 6 | 11 | -1 | 51 | 52 |
| S | 4 | 2 | 1 | 0 | -1 | 0 | 1 | 5 | 12 | 22 | 31 | 39 | 45 | 46 | 43 | 37 | 31 | 25 | 20 | 15 | 12 | 10 | 8 | 5 | 14 | -1 | 46 | 47 |
| SW | 5 | 4 | 3 | 1 | 0 | 0 | 2 | 5 | 8 | 12 | 16 | 26 | 38 | 50 | 59 | 63 | 61 | 52 | 37 | 24 | 17 | 13 | 10 | 8 | 16 | 0 | 63 | 65 |
| W | 6 | 5 | 3 | 2 | 1 | 1 | 2 | 5 | 8 | 11 | 15 | 19 | 27 | 41 | 56 | 67 | 72 | 67 | 48 | 29 | 20 | 15 | 11 | 8 | 17 | 1 | 72 | 71 |
| NW | 5 | 3 | 2 | 1 | 0 | 0 | 2 | 5 | 8 | 11 | 15 | 18 | 21 | 27 | 37 | 47 | 55 | 55 | 41 | 25 | 17 | 13 | 10 | 7 | 18 | 0 | 55 | 55 |

Reprinted with permission from the 1989 ASHRAE Handbook/Transactions.

Fuente: (Pita, 2002)

Anexo 3. Coeficiente de transferencia de calor para paredes de construcción

TABLE 6.3 WALL CONSTRUCTION GROUP DESCRIPTION

| Group No. | Description of Construction | Weight (lb/ft ²) | U-Value (BTU/h•ft ² •°F) |
|---|--|------------------------------|-------------------------------------|
| 4-in. Face brick + (brick) | | | |
| C | Air space + 4-in. face brick | 83 | 0.358 |
| D | 4-in. common brick | 90 | 0.415 |
| C | 1-in. insulation or air space + 4-in. common brick | 90 | 0.174–0.301 |
| B | 2-in. insulation + 4-in. common brick | 88 | 0.111 |
| B | 8-in. common brick | 130 | 0.302 |
| A | Insulation or air space + 8-in. common brick | 130 | 0.154–0.243 |
| 4-in. Face brick + (heavyweight concrete) | | | |
| C | Air space + 2-in. concrete | 94 | 0.350 |
| B | 2-in. insulation + 4-in. concrete | 97 | 0.116 |
| A | Air space or insulation + 8-in. or more concrete | 143–190 | 0.110–0.112 |
| 4-in. Face brick + (light or heavyweight concrete block) | | | |
| E | 4-in. block | 62 | 0.319 |
| D | Air space or insulation + 4-in. block | 62 | 0.153–0.246 |
| D | 8-in. block | 70 | 0.274 |
| C | Air space or 1-in. insulation + 6-in. or 8-in. block | 73–89 | 0.221–0.275 |
| B | 2-in. insulation + 8-in. block | 89 | 0.096–0.107 |
| 4-in. Face brick + (clay tile) | | | |
| D | 4-in. tile | 71 | 0.381 |
| D | Air space + 4-in. tile | 71 | 0.281 |
| C | Insulation + 4-in. tile | 71 | 0.169 |
| C | 8-in. tile | 96 | 0.275 |
| B | Air space or 1-in. insulation + 8-in. tile | 96 | 0.142–0.221 |
| A | 2-in. insulation + 8-in. tile | 97 | 0.097 |
| Heavyweight concrete wall + (finish) | | | |
| E | 4-in. concrete | 63 | 0.585 |
| D | 4-in. concrete + 1-in. or 2-in. insulation | 63 | 0.119–0.200 |
| C | 2-in. insulation + 4-in. concrete | 63 | 0.119 |
| C | 8-in. concrete | 109 | 0.490 |
| B | 8-in. concrete + 1-in. or 2-in. insulation | 110 | 0.115–0.187 |
| A | 2-in. insulation + 8-in. concrete | 110 | 0.115 |
| B | 12-in. concrete | 156 | 0.421 |
| A | 12-in. concrete + insulation | 156 | 0.113 |
| Light and heavyweight concrete block + (finish) | | | |
| F | 4-in. block + air space/insulation | 29 | 0.161–0.263 |
| E | 2-in. insulation + 4-in. block | 29–37 | 0.105–0.114 |
| E | 8-in. block | 47–51 | 0.294–0.402 |
| D | 8-in. block + air space/insulation | 41–57 | 0.149–0.173 |
| Clay tile + (finish) | | | |
| F | 4-in. tile | 39 | 0.419 |
| F | 4-in. tile + air space | 39 | 0.303 |
| E | 4-in. tile + 1-in. insulation | 39 | 0.175 |
| D | 2-in. insulation + 4-in. tile | 40 | 0.110 |
| D | 8-in. tile | 63 | 0.296 |
| C | 8-in. tile + air space/1-in. insulation | 63 | 0.151–0.231 |
| B | 2-in. insulation + 8-in. tile | 63 | 0.099 |
| Metal curtain wall | | | |
| G | With/without air space + 1- to 3-in. insulation | 5–6 | 0.091–0.230 |
| Frame wall | | | |
| G | 1-in. to 3-in. insulation | 16 | 0.081–0.178 |

Reprinted with permission from the 1989 ASHRAE Handbook—Fundamentals.

Fuente: (Pita, 2002)

Anexo 4. Coeficiente global de transferencia de calor para el vidrio

TABLA A.8. COEFICIENTE GLOBAL U DE TRANSFERENCIA DE CALOR PARA EL VIDRIO (BTU/hr-ft²-°F)

| Paneles verticales (ventanas exteriores, puertas corredizas de vidrio y particiones) Vidrio plano, tragaluz y lámina de plástico | | | | Paneles horizontales — vidrio plano, tragaluz y domos de plástico | | | |
|---|--|--|--|---|----------------------|-----------------------|----------------------|
| Descripción | Exterior | | | Descripción | Exterior | | |
| | Invierno | Verano | Interior | | Invierno | Verano | Interior |
| Vidrio plano vidrio sencillo | 1.10 | 1.04 | 0.73 | Vidrio plano vidrio sencillo | 1.23 | 0.83 | 0.96 |
| vidrio aislante - doble espacio de aire de 1/4" ^a espacio de aire de 1/2" ^b espacio de aire de 1/2" ^c recubrimiento de baja emisión ^d e = 0.20 e = 0.40 e = 0.60 | 0.58 0.49 | 0.61 0.56 | 0.49 0.46 | vidrio aislante — doble espacio de aire de 1/4" ^a espacio de aire de 1/2" ^b espacio de aire de 1/2" ^c recubrimiento de baja emisión ^d e = 0.20 e = 0.40 e = 0.60 | 0.65 0.59 | 0.54 0.49 | 0.59 0.56 |
| Vidrio aislante - triple ^d Espacio de aire de 1/4" ^a espacio de aire de 1/2" ^b Ventanas dobles espacio de aire de 1" a 4" ^e | 0.32 0.38 0.43 | 0.38 0.45 0.51 | 0.32 0.38 0.42 | Tragaluz ^g 11 x 11 x 3 in espesor con divisor de cavidad 12 x 12 x 4 in espesor con divisor de cavidad | 0.48 0.42 0.56 | 0.36 0.42 0.46 | 0.39 0.45 0.50 |
| Lámina de plástico sencilla 1/8" espesor 1/4" espesor 1/2" espesor | 1.06 0.96 0.81 | 0.98 0.89 0.76 | -- -- -- | Tragaluz ^g 11 x 11 x 3 in espesor con divisor de cavidad 12 x 12 x 4 in espesor con divisor de cavidad | 0.53 0.51 | 0.35 0.34 | 0.44 0.42 |
| unidad aislante - doble espacio de aire de 1/4" ^a espacio de aire de 1/2" ^b | 0.55 0.43 | 0.56 0.45 | -- -- | Domos de plástico ^f de pared sencilla de pared doble | 1.15 0.70 | 0.60 0.46 | -- -- |
| Tragaluz ^g 6 x 6 x 4 in espesor 8 x 8 x 4 in espesor — con divisor del hueco 12 x 12 x 4 in espesor — con divisor del hueco 12 x 12 x 2 in espesor | 0.60 0.56 0.48 0.52 0.44 0.60 | 0.57 0.54 0.46 0.50 0.42 0.57 | 0.45 0.44 0.38 0.41 0.36 0.46 | Factores de ajuste para paneles verticales y horizontales | | | |
| | | | | Descripción | Vidrio sencillo | Vidrio doble o triple | Ventanas dobles |
| | | | | Ventanas Todas de vidrio | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| | | | | Marco de madera - 80% vidrio | 0.90 | 0.95 | 0.90 |
| | | | | Marco de madera - 60% vidrio | 0.80 | 0.85 | 0.80 |
| | | | | Marco de metal - 80% vidrio | 1.00 | 1.20 ^h | 1.20 ^h |
| | | | | Ventanas y puertas corredizas de vidrio | 0.95 | 1.00 | -- |
| | | | | Marco de madera | 1.00 | 1.10 ^h | -- |
| | | | | Marco de metal | | | |

^a vidrio de 1/8"
^b vidrio de 1/4"
^c recubrimiento en ambas superficies del vidrio que dan al espacio de aire
^d diseño de la ventana: vidrio de 1/4" - vidrio de 1/8" - vidrio de 1/4"
^e dimensiones nominales
^f basados en la superficie de la abertura
^g con aislamiento térmico

Fuente: (Pita, 2002)

Anexo 5. Factor de corrección por latitud

TABLE 6.4 CLTD CORRECTION FOR LATITUDE AND MONTH APPLIED TO WALLS AND ROOFS, NORTH LATITUDES, F

| Lat. | Month | N | NNE NNW | NE NW | ENE WNW | E W | ESE WSW | SE SW | SSE SSW | S | HOR |
|------|----------|----|------------|----------|------------|--------|------------|----------|------------|----|-----|
| 0 | Dec | -3 | -5 | -5 | -5 | -2 | 0 | 3 | 6 | 9 | -1 |
| | Jan/Nov | -3 | -5 | -4 | -4 | -1 | 0 | 2 | 4 | 7 | -1 |
| | Feb/Oct | -3 | -2 | -2 | -2 | -1 | -1 | 0 | -1 | 0 | 0 |
| | Mar/Sept | -3 | 0 | 1 | -1 | -1 | -3 | -3 | -5 | -8 | 0 |
| | Apr/Aug | 5 | 4 | 3 | 0 | -2 | -5 | -6 | -8 | -8 | -2 |
| | May/Jul | 10 | 7 | 5 | 0 | -3 | -7 | -8 | -9 | -8 | -4 |
| | Jun | 12 | 9 | 5 | 0 | -3 | -7 | -9 | -10 | -8 | -5 |
| 8 | Dec | -4 | -6 | -6 | -6 | -3 | 0 | 4 | 8 | 12 | -5 |
| | Jan/Nov | -3 | -5 | -6 | -5 | -2 | 0 | 3 | 6 | 10 | -4 |
| | Feb/Oct | -3 | -4 | -3 | -3 | -1 | -1 | 1 | 2 | 4 | -1 |
| | Mar/Sept | -3 | -2 | -1 | -1 | -1 | -2 | -2 | -3 | -4 | 0 |
| | Apr/Aug | 2 | 2 | 2 | 0 | -1 | -4 | -5 | -7 | -7 | -1 |
| | May/Jul | 7 | 5 | 4 | 0 | -2 | -5 | -7 | -9 | -7 | -2 |
| | Jun | 9 | 6 | 4 | 0 | -2 | -6 | -8 | -9 | -7 | -2 |
| 16 | Dec | -4 | -6 | -8 | -8 | -4 | -1 | 4 | 9 | 13 | -9 |
| | Jan/Nov | -4 | -6 | -7 | -7 | -4 | -1 | 4 | 8 | 12 | -7 |
| | Feb/Oct | -3 | -5 | -5 | -4 | -2 | 0 | 2 | 5 | 7 | -4 |
| | Mar/Sept | -3 | -3 | -2 | -2 | -1 | -1 | 0 | 0 | 0 | -1 |
| | Apr/Aug | -1 | 0 | -1 | -1 | -1 | -3 | -3 | -5 | -6 | 0 |
| | May/Jul | 4 | 3 | 3 | 0 | -1 | -4 | -5 | -7 | -7 | 0 |
| | Jun | 6 | 4 | 4 | 1 | -1 | -4 | -6 | -8 | 0 | -7 |
| 24 | Dec | -5 | -7 | -9 | -10 | -7 | -3 | 3 | 9 | 13 | -13 |
| | Jan/Nov | -4 | -6 | -8 | -9 | -6 | -3 | 9 | 3 | 13 | -11 |
| | Feb/Oct | -4 | -5 | -6 | -6 | -3 | -1 | 3 | 7 | 10 | -7 |
| | Mar/Sept | -3 | -4 | -3 | -3 | -1 | -1 | 1 | 2 | 4 | -3 |
| | Apr/Aug | -2 | -1 | 0 | -1 | -1 | -2 | -1 | -2 | -3 | 0 |
| | May/Jul | 1 | 2 | 2 | 0 | 0 | -3 | -3 | -5 | -6 | 1 |
| | Jun | 3 | 3 | 3 | 1 | 0 | -3 | -4 | -6 | -6 | 1 |
| 32 | Dec | -5 | -7 | -10 | -11 | -8 | -5 | 2 | 9 | 12 | -17 |
| | Jan/Nov | -5 | -7 | -9 | -11 | -8 | -15 | -4 | 2 | 9 | 12 |
| | Feb/Oct | -4 | -6 | -7 | -8 | -4 | -2 | 4 | 8 | 11 | -10 |
| | Mar/Sept | -3 | -4 | -4 | -4 | -2 | -1 | 3 | 5 | 7 | -5 |
| | Apr/Aug | -2 | -2 | -1 | -2 | 0 | -1 | 0 | 1 | 1 | -1 |
| | May/Jul | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | -1 | -1 | -3 | -3 | 1 |
| | Jun | 1 | 2 | 2 | 1 | 0 | -2 | -2 | -4 | -4 | 2 |
| 40 | Dec | -6 | -8 | -10 | -13 | -10 | -7 | 0 | 7 | 10 | -21 |
| | Jan/Nov | -5 | -7 | -10 | -12 | -9 | -6 | 1 | 8 | 11 | -19 |
| | Feb/Oct | -5 | -7 | -8 | -9 | -6 | -3 | 3 | 8 | 12 | -14 |
| | Mar/Sept | -4 | -5 | -5 | -6 | -3 | -1 | 4 | 7 | 10 | -8 |
| | Apr/Aug | -2 | -3 | -2 | -2 | 0 | 0 | 2 | 3 | 4 | -3 |
| | May/Jul | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| | Jun | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | -1 | -1 | 2 |
| 48 | Dec | -6 | -8 | -11 | -14 | -13 | -10 | -3 | 2 | 6 | -25 |
| | Jan/Nov | -6 | -8 | -11 | -13 | -11 | -8 | -1 | 5 | 8 | -24 |
| | Feb/Oct | -5 | -7 | -10 | -11 | -8 | -5 | 1 | 8 | 11 | -18 |
| | Mar/Sept | -4 | -6 | -6 | -7 | -4 | -1 | 4 | 8 | 11 | -11 |
| | Apr/Aug | -3 | -3 | -3 | -3 | -1 | 0 | 4 | 6 | 7 | -5 |
| | May/Jul | 0 | -1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 3 | 3 | 4 | 0 |
| | Jun | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 3 | 2 |

Reprinted with permission from the 1989 ASHRAE Handbook—Fundamentals.

Fuente: (Pita, 2002)

Anexo 6. Diferencia de temperatura por conducción a través de vidrio

TABLE 6.5 COOLING LOAD TEMPERATURE DIFFERENCES (CLTD) FOR CONDUCTION THROUGH GLASS

| Solar Time, h | CLTD °F | Solar Time, h | CLTD °F |
|---------------|---------|---------------|---------|
| 0100 | 1 | 1300 | 12 |
| 0200 | 0 | 1400 | 13 |
| 0300 | -1 | 1500 | 14 |
| 0400 | -2 | 1600 | 14 |
| 0500 | -2 | 1700 | 13 |
| 0600 | -2 | 1800 | 12 |
| 0700 | -2 | 1900 | 10 |
| 0800 | 0 | 2000 | 8 |
| 0900 | 2 | 2100 | 6 |
| 1000 | 4 | 2200 | 4 |
| 1100 | 7 | 2300 | 3 |
| 1200 | 9 | 2400 | 2 |

Reprinted with permission from the 1993 ASHRAE Handbook—Fundamentals.

Fuente: (Pita, 2002)

Anexo 7. Coeficiente de sombreado para vidrios

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

Reproducido con permiso del 1985 Fundamentals, ASHRAE Handbook & Product Directory

Fuente: (Pita, 2002)

Anexo 8. Factor de ganancia solar para vidrio

TABLE 6.6 MAXIMUM SOLAR HEAT GAIN FACTOR (SHGF) BTU/HR • FT² FOR SUNLIT GLASS, NORTH LATITUDES

| 20° N. Lat | | | | | | | | | | |
|------------|----|-------------|-----------|-------------|---------|-------------|-----------|-------------|-----|-----|
| | N | NNE/ NNW | NE/ NW | ENE/ WNW | E/ W | ESE/ WSW | SE/ SW | SSE/ SSW | S | HOR |
| Jan. | 29 | 29 | 48 | 138 | 201 | 243 | 253 | 233 | 214 | 232 |
| Feb. | 31 | 31 | 88 | 173 | 226 | 244 | 238 | 201 | 174 | 263 |
| Mar. | 34 | 49 | 132 | 200 | 237 | 236 | 206 | 152 | 115 | 284 |
| Apr. | 38 | 92 | 166 | 213 | 228 | 208 | 158 | 91 | 58 | 287 |
| May | 47 | 123 | 184 | 217 | 217 | 184 | 124 | 54 | 42 | 283 |
| June | 59 | 135 | 189 | 216 | 210 | 173 | 108 | 45 | 42 | 279 |
| July | 48 | 124 | 182 | 213 | 212 | 179 | 119 | 53 | 43 | 278 |
| Aug. | 40 | 91 | 162 | 206 | 220 | 200 | 152 | 88 | 57 | 280 |
| Sep. | 36 | 46 | 127 | 191 | 225 | 225 | 199 | 148 | 114 | 275 |
| Oct. | 32 | 32 | 87 | 167 | 217 | 236 | 231 | 196 | 170 | 258 |
| Nov. | 29 | 29 | 48 | 136 | 197 | 239 | 249 | 229 | 211 | 230 |
| Dec. | 27 | 27 | 35 | 122 | 187 | 238 | 254 | 241 | 226 | 217 |

| 24° N. Lat | | | | | | | | | | |
|------------|----|-------------|-----------|-------------|---------|-------------|-----------|-------------|-----|-----|
| | N | NNE/ NNW | NE/ NW | ENE/ WNW | E/ W | ESE/ WSW | SE/ SW | SSE/ SSW | S | HOR |
| Jan. | 27 | 27 | 41 | 128 | 190 | 240 | 253 | 241 | 227 | 214 |
| Feb. | 30 | 30 | 80 | 165 | 220 | 244 | 243 | 213 | 192 | 249 |
| Mar. | 34 | 45 | 124 | 195 | 234 | 237 | 214 | 168 | 137 | 275 |
| Apr. | 37 | 88 | 159 | 209 | 228 | 212 | 169 | 107 | 75 | 283 |
| May | 43 | 117 | 178 | 214 | 218 | 190 | 132 | 67 | 46 | 282 |
| June | 55 | 127 | 184 | 214 | 212 | 179 | 117 | 55 | 43 | 279 |
| July | 45 | 116 | 176 | 210 | 213 | 185 | 129 | 65 | 46 | 278 |
| Aug. | 38 | 87 | 156 | 203 | 220 | 204 | 162 | 103 | 72 | 277 |
| Sep. | 35 | 42 | 119 | 185 | 222 | 225 | 206 | 163 | 134 | 266 |
| Oct. | 31 | 31 | 79 | 159 | 211 | 237 | 235 | 207 | 187 | 244 |
| Nov. | 27 | 27 | 42 | 126 | 187 | 236 | 249 | 237 | 224 | 213 |
| Dec. | 26 | 26 | 29 | 112 | 180 | 234 | 247 | 247 | 237 | 199 |

| 28° N. Lat | | | | | | | | | | |
|------------|----|-------------|-----------|-------------|---------|-------------|-----------|-------------|-----|-----|
| | N | NNE/ NNW | NE/ NW | ENE/ WNW | E/ W | ESE/ WSW | SE/ SW | SSE/ SSW | S | HOR |
| Jan. | 25 | 25 | 35 | 117 | 183 | 235 | 251 | 247 | 238 | 196 |
| Feb. | 29 | 29 | 72 | 157 | 213 | 244 | 246 | 224 | 207 | 234 |
| Mar. | 33 | 41 | 116 | 189 | 231 | 237 | 221 | 182 | 157 | 265 |
| Apr. | 36 | 84 | 151 | 205 | 228 | 216 | 178 | 124 | 94 | 278 |
| May | 40 | 115 | 172 | 211 | 219 | 195 | 144 | 83 | 58 | 280 |
| June | 51 | 125 | 178 | 211 | 213 | 184 | 128 | 68 | 49 | 278 |
| July | 41 | 114 | 170 | 208 | 215 | 190 | 140 | 80 | 57 | 276 |
| Aug. | 38 | 83 | 149 | 199 | 220 | 207 | 172 | 120 | 91 | 272 |
| Sep. | 34 | 38 | 111 | 179 | 219 | 226 | 213 | 177 | 154 | 256 |
| Oct. | 30 | 30 | 71 | 151 | 204 | 236 | 238 | 217 | 202 | 229 |
| Nov. | 26 | 26 | 35 | 115 | 181 | 232 | 247 | 243 | 235 | 195 |
| Dec. | 24 | 24 | 24 | 99 | 172 | 227 | 248 | 251 | 246 | 179 |

| 32° N. Lat | | | | | | | | | | |
|------------|----|-------------|-----------|-------------|---------|-------------|-----------|-------------|-----|-----|
| | N | NNE/ NNW | NE/ NW | ENE/ WNW | E/ W | ESE/ WSW | SE/ SW | SSE/ SSW | S | HOR |
| Jan. | 24 | 24 | 29 | 105 | 175 | 229 | 249 | 250 | 246 | 176 |
| Feb. | 27 | 27 | 65 | 149 | 205 | 242 | 248 | 232 | 221 | 217 |
| Mar. | 32 | 37 | 107 | 183 | 227 | 237 | 227 | 195 | 176 | 252 |
| Apr. | 36 | 80 | 146 | 200 | 227 | 219 | 187 | 141 | 115 | 271 |
| May | 38 | 111 | 170 | 208 | 220 | 199 | 155 | 99 | 74 | 277 |
| June | 44 | 122 | 176 | 208 | 214 | 189 | 139 | 83 | 60 | 276 |
| July | 40 | 111 | 167 | 204 | 215 | 194 | 150 | 96 | 72 | 273 |
| Aug. | 37 | 79 | 141 | 195 | 219 | 210 | 181 | 136 | 111 | 265 |
| Sep. | 33 | 35 | 103 | 173 | 215 | 227 | 218 | 189 | 171 | 244 |
| Oct. | 28 | 28 | 63 | 143 | 195 | 234 | 239 | 225 | 215 | 213 |
| Nov. | 24 | 24 | 29 | 103 | 173 | 225 | 245 | 246 | 243 | 175 |
| Dec. | 22 | 22 | 22 | 84 | 162 | 218 | 246 | 252 | 252 | 158 |

| 36° N. Lat | | | | | | | | | | |
|------------|----|-------------|-----------|-------------|---------|-------------|-----------|-------------|-----|-----|
| | N | NNE/ NNW | NE/ NW | ENE/ WNW | E/ W | ESE/ WSW | SE/ SW | SSE/ SSW | S | HOR |
| Jan. | 22 | 22 | 24 | 90 | 166 | 219 | 247 | 252 | 252 | 155 |
| Feb. | 26 | 26 | 57 | 139 | 195 | 239 | 248 | 239 | 232 | 199 |
| Mar. | 30 | 33 | 99 | 176 | 223 | 238 | 232 | 206 | 192 | 238 |
| Apr. | 35 | 76 | 144 | 196 | 225 | 221 | 196 | 156 | 135 | 262 |
| May | 38 | 107 | 168 | 204 | 220 | 204 | 165 | 116 | 93 | 272 |
| June | 47 | 118 | 175 | 205 | 215 | 194 | 150 | 99 | 77 | 273 |
| July | 39 | 107 | 165 | 201 | 216 | 199 | 161 | 113 | 90 | 268 |
| Aug. | 36 | 75 | 138 | 190 | 218 | 212 | 189 | 151 | 131 | 257 |
| Sep. | 31 | 31 | 95 | 167 | 210 | 228 | 223 | 200 | 187 | 230 |
| Oct. | 27 | 27 | 56 | 133 | 187 | 230 | 239 | 231 | 225 | 195 |
| Nov. | 22 | 22 | 24 | 87 | 163 | 215 | 243 | 248 | 248 | 154 |
| Dec. | 20 | 20 | 20 | 69 | 151 | 204 | 241 | 253 | 254 | 136 |

| 40° N. Lat | | | | | | | | | | |
|------------|----|-------------|-----------|-------------|---------|-------------|-----------|-------------|-----|-----|
| | N | NNE/ NNW | NE/ NW | ENE/ WNW | E/ W | ESE/ WSW | SE/ SW | SSE/ SSW | S | HOR |
| Jan. | 20 | 20 | 20 | 74 | 154 | 205 | 241 | 252 | 254 | 133 |
| Feb. | 24 | 24 | 50 | 129 | 186 | 234 | 246 | 244 | 241 | 180 |
| Mar. | 29 | 29 | 93 | 169 | 218 | 238 | 236 | 216 | 206 | 223 |
| Apr. | 34 | 71 | 140 | 190 | 224 | 223 | 203 | 170 | 154 | 252 |
| May | 37 | 102 | 165 | 202 | 220 | 208 | 175 | 133 | 113 | 265 |
| June | 48 | 113 | 172 | 205 | 216 | 199 | 161 | 116 | 95 | 267 |
| July | 38 | 102 | 163 | 198 | 216 | 203 | 170 | 129 | 109 | 262 |
| Aug. | 35 | 71 | 135 | 185 | 216 | 214 | 196 | 165 | 149 | 247 |
| Sep. | 30 | 30 | 87 | 160 | 203 | 227 | 226 | 209 | 200 | 215 |
| Oct. | 25 | 25 | 49 | 123 | 180 | 225 | 238 | 236 | 234 | 177 |
| Nov. | 20 | 20 | 20 | 73 | 151 | 201 | 237 | 248 | 250 | 132 |
| Dec. | 18 | 18 | 18 | 60 | 135 | 188 | 232 | 249 | 253 | 113 |

| 44° N. Lat | | | | | | | | | | |
|------------|----|-------------|-----------|-------------|---------|-------------|-----------|-------------|-----|-----|
| | N | NNE/ NNW | NE/ NW | ENE/ WNW | E/ W | ESE/ WSW | SE/ SW | SSE/ SSW | S | HOR |
| Jan. | 17 | 17 | 17 | 64 | 138 | 189 | 232 | 248 | 252 | 109 |
| Feb. | 22 | 22 | 43 | 117 | 178 | 227 | 246 | 248 | 247 | 160 |
| Mar. | 27 | 27 | 87 | 162 | 211 | 236 | 238 | 224 | 218 | 206 |
| Apr. | 33 | 66 | 136 | 185 | 221 | 224 | 210 | 183 | 171 | 240 |
| May | 36 | 96 | 162 | 201 | 219 | 211 | 183 | 148 | 132 | 257 |
| June | 47 | 108 | 169 | 205 | 215 | 203 | 171 | 132 | 115 | 261 |
| July | 37 | 96 | 159 | 198 | 215 | 206 | 179 | 144 | 128 | 254 |
| Aug. | 34 | 66 | 132 | 180 | 214 | 215 | 202 | 177 | 165 | 236 |
| Sep. | 28 | 28 | 80 | 152 | 198 | 226 | 227 | 216 | 211 | 199 |
| Oct. | 23 | 23 | 42 | 111 | 171 | 217 | 237 | 240 | 239 | 157 |
| Nov. | 18 | 18 | 18 | 64 | 135 | 186 | 227 | 244 | 248 | 109 |
| Dec. | 15 | 15 | 15 | 49 | 115 | 175 | 217 | 240 | 246 | 89 |

| 48° N. Lat | | | | | | | | | | |
|------------|----|-------------|-----------|-------------|---------|-------------|-----------|-------------|-----|-----|
| | N | NNE/ NNW | NE/ NW | ENE/ WNW | E/ W | ESE/ WSW | SE/ SW | SSE/ SSW | S | HOR |
| Jan. | 15 | 15 | 15 | 53 | 118 | 175 | 216 | 239 | 245 | 85 |
| Feb. | 20 | 20 | 36 | 103 | 168 | 216 | 242 | 249 | 250 | 138 |
| Mar. | 26 | 26 | 80 | 154 | 204 | 234 | 239 | 232 | 228 | 188 |
| Apr. | 31 | 61 | 132 | 180 | 219 | 225 | 215 | 194 | 186 | 226 |
| May | 35 | 97 | 158 | 200 | 218 | 214 | 192 | 163 | 150 | 247 |
| June | 46 | 110 | 165 | 204 | 215 | 206 | 180 | 148 | 134 | 252 |
| July | 37 | 96 | 156 | 196 | 214 | 209 | 187 | 158 | 146 | 244 |
| Aug. | 33 | 61 | 128 | 174 | 211 | 216 | 208 | 188 | 180 | 223 |
| Sep. | 27 | 27 | 72 | 144 | 191 | 223 | 238 | 223 | 220 | 182 |
| Oct. | 21 | 21 | 35 | 96 | 161 | 207 | 233 | 241 | 242 | 136 |
| Nov. | 15 | 15 | 15 | 52 | 115 | 172 | 212 | 234 | 240 | 85 |
| Dec. | 13 | 13 | 13 | 36 | 91 | 156 | 193 | 225 | 233 | 63 |

Reprinted with permission from the 1989 ASHRAE Handbook—Fundamentals.

Fuente: (Pita, 2002)

Anexo 9. Factores de carga para vidrio sin sombreado interior

TABLA 6.8. FACTORES DE CARGA DE ENFRIAMIENTO PARA VIDRIO SIN SOMBRADO INTERIOR (INCLUYE VIDRIO REFLECTOR Y ABSORBENTE DE CALOR)

| Latitud norte. Ventana viendo hacia el | Construcción del recinto | Hora solar, h | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--------------------------------|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
| N | L | 0.17 | 0.14 | 0.11 | 0.09 | 0.08 | 0.33 | 0.42 | 0.48 | 0.56 | 0.63 | 0.71 | 0.76 | 0.80 | 0.82 | 0.82 | 0.79 | 0.80 | 0.84 | 0.61 | 0.48 | 0.38 | 0.31 | 0.25 | 0.20 |
| | M | 0.23 | 0.20 | 0.18 | 0.16 | 0.14 | 0.34 | 0.41 | 0.46 | 0.52 | 0.59 | 0.65 | 0.70 | 0.73 | 0.75 | 0.76 | 0.74 | 0.75 | 0.79 | 0.61 | 0.50 | 0.42 | 0.36 | 0.31 | 0.27 |
| | H | 0.25 | 0.23 | 0.21 | 0.20 | 0.19 | 0.38 | 0.45 | 0.50 | 0.55 | 0.60 | 0.65 | 0.69 | 0.72 | 0.73 | 0.72 | 0.70 | 0.70 | 0.74 | 0.57 | 0.46 | 0.39 | 0.34 | 0.31 | 0.28 |
| NE | L | 0.04 | 0.04 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.23 | 0.41 | 0.51 | 0.51 | 0.45 | 0.39 | 0.36 | 0.33 | 0.31 | 0.28 | 0.26 | 0.23 | 0.19 | 0.15 | 0.12 | 0.10 | 0.08 | 0.06 | 0.05 |
| | M | 0.07 | 0.06 | 0.06 | 0.05 | 0.04 | 0.21 | 0.36 | 0.44 | 0.45 | 0.40 | 0.36 | 0.33 | 0.31 | 0.30 | 0.28 | 0.26 | 0.23 | 0.21 | 0.17 | 0.15 | 0.13 | 0.11 | 0.09 | 0.08 |
| | H | 0.09 | 0.08 | 0.08 | 0.07 | 0.07 | 0.23 | 0.37 | 0.44 | 0.44 | 0.39 | 0.34 | 0.31 | 0.29 | 0.27 | 0.26 | 0.24 | 0.22 | 0.20 | 0.16 | 0.14 | 0.13 | 0.12 | 0.11 | 0.10 |
| E | L | 0.04 | 0.04 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.19 | 0.37 | 0.51 | 0.57 | 0.57 | 0.51 | 0.42 | 0.36 | 0.32 | 0.29 | 0.25 | 0.22 | 0.19 | 0.14 | 0.12 | 0.09 | 0.08 | 0.06 | 0.05 |
| | M | 0.07 | 0.06 | 0.06 | 0.05 | 0.04 | 0.18 | 0.33 | 0.44 | 0.50 | 0.51 | 0.45 | 0.39 | 0.35 | 0.32 | 0.29 | 0.26 | 0.23 | 0.21 | 0.17 | 0.15 | 0.13 | 0.11 | 0.10 | 0.08 |
| | H | 0.09 | 0.09 | 0.08 | 0.08 | 0.07 | 0.21 | 0.34 | 0.45 | 0.50 | 0.49 | 0.43 | 0.36 | 0.32 | 0.29 | 0.26 | 0.24 | 0.22 | 0.19 | 0.17 | 0.15 | 0.13 | 0.12 | 0.11 | 0.10 |
| SE | L | 0.05 | 0.04 | 0.04 | 0.03 | 0.02 | 0.13 | 0.28 | 0.43 | 0.55 | 0.62 | 0.63 | 0.57 | 0.48 | 0.42 | 0.37 | 0.33 | 0.28 | 0.24 | 0.19 | 0.15 | 0.12 | 0.10 | 0.08 | 0.07 |
| | M | 0.09 | 0.08 | 0.07 | 0.06 | 0.05 | 0.14 | 0.26 | 0.38 | 0.48 | 0.54 | 0.55 | 0.51 | 0.45 | 0.40 | 0.36 | 0.33 | 0.29 | 0.25 | 0.21 | 0.18 | 0.16 | 0.14 | 0.12 | 0.10 |
| | H | 0.11 | 0.10 | 0.10 | 0.09 | 0.08 | 0.17 | 0.28 | 0.40 | 0.49 | 0.53 | 0.53 | 0.48 | 0.41 | 0.36 | 0.33 | 0.30 | 0.27 | 0.24 | 0.20 | 0.18 | 0.16 | 0.14 | 0.13 | 0.12 |
| S | L | 0.08 | 0.07 | 0.05 | 0.04 | 0.04 | 0.06 | 0.09 | 0.14 | 0.22 | 0.34 | 0.48 | 0.59 | 0.65 | 0.65 | 0.59 | 0.50 | 0.43 | 0.36 | 0.28 | 0.22 | 0.18 | 0.15 | 0.12 | 0.10 |
| | M | 0.12 | 0.11 | 0.09 | 0.08 | 0.07 | 0.08 | 0.11 | 0.14 | 0.21 | 0.31 | 0.42 | 0.52 | 0.57 | 0.58 | 0.53 | 0.47 | 0.41 | 0.36 | 0.29 | 0.25 | 0.21 | 0.18 | 0.16 | 0.14 |
| | H | 0.13 | 0.12 | 0.12 | 0.11 | 0.10 | 0.12 | 0.14 | 0.17 | 0.24 | 0.33 | 0.43 | 0.51 | 0.56 | 0.55 | 0.50 | 0.43 | 0.38 | 0.32 | 0.26 | 0.22 | 0.20 | 0.18 | 0.16 | 0.15 |
| SW | L | 0.12 | 0.10 | 0.08 | 0.06 | 0.05 | 0.06 | 0.08 | 0.10 | 0.12 | 0.14 | 0.16 | 0.24 | 0.36 | 0.49 | 0.60 | 0.66 | 0.66 | 0.58 | 0.43 | 0.33 | 0.27 | 0.22 | 0.18 | 0.14 |
| | M | 0.15 | 0.13 | 0.12 | 0.10 | 0.09 | 0.09 | 0.10 | 0.12 | 0.13 | 0.15 | 0.17 | 0.23 | 0.33 | 0.44 | 0.53 | 0.58 | 0.59 | 0.53 | 0.41 | 0.33 | 0.28 | 0.24 | 0.21 | 0.18 |
| | H | 0.15 | 0.14 | 0.13 | 0.12 | 0.11 | 0.12 | 0.13 | 0.14 | 0.16 | 0.17 | 0.19 | 0.25 | 0.34 | 0.44 | 0.52 | 0.56 | 0.56 | 0.49 | 0.37 | 0.30 | 0.25 | 0.21 | 0.19 | 0.17 |
| W | L | 0.12 | 0.10 | 0.08 | 0.07 | 0.05 | 0.06 | 0.07 | 0.08 | 0.10 | 0.11 | 0.13 | 0.14 | 0.20 | 0.32 | 0.45 | 0.57 | 0.64 | 0.61 | 0.44 | 0.34 | 0.27 | 0.22 | 0.18 | 0.14 |
| | M | 0.15 | 0.13 | 0.11 | 0.10 | 0.09 | 0.09 | 0.10 | 0.11 | 0.12 | 0.13 | 0.14 | 0.19 | 0.29 | 0.40 | 0.50 | 0.56 | 0.55 | 0.41 | 0.33 | 0.27 | 0.23 | 0.20 | 0.17 | 0.15 |
| | H | 0.14 | 0.13 | 0.12 | 0.11 | 0.10 | 0.11 | 0.12 | 0.13 | 0.13 | 0.14 | 0.15 | 0.16 | 0.21 | 0.30 | 0.40 | 0.49 | 0.54 | 0.52 | 0.38 | 0.30 | 0.24 | 0.21 | 0.18 | 0.16 |
| NW | L | 0.11 | 0.09 | 0.08 | 0.06 | 0.05 | 0.06 | 0.08 | 0.10 | 0.12 | 0.14 | 0.16 | 0.17 | 0.19 | 0.23 | 0.33 | 0.47 | 0.59 | 0.60 | 0.43 | 0.33 | 0.26 | 0.21 | 0.17 | 0.14 |
| | M | 0.14 | 0.12 | 0.11 | 0.09 | 0.08 | 0.09 | 0.10 | 0.11 | 0.13 | 0.14 | 0.16 | 0.17 | 0.18 | 0.21 | 0.30 | 0.42 | 0.51 | 0.53 | 0.39 | 0.32 | 0.26 | 0.22 | 0.19 | 0.16 |
| | H | 0.14 | 0.12 | 0.11 | 0.11 | 0.10 | 0.11 | 0.12 | 0.13 | 0.13 | 0.15 | 0.16 | 0.18 | 0.19 | 0.19 | 0.22 | 0.30 | 0.41 | 0.50 | 0.51 | 0.36 | 0.29 | 0.23 | 0.20 | 0.17 |
| HORA | L | 0.11 | 0.09 | 0.07 | 0.06 | 0.05 | 0.07 | 0.14 | 0.24 | 0.36 | 0.48 | 0.58 | 0.66 | 0.72 | 0.74 | 0.73 | 0.67 | 0.59 | 0.47 | 0.37 | 0.30 | 0.24 | 0.19 | 0.16 | 0.13 |
| | M | 0.16 | 0.14 | 0.12 | 0.11 | 0.09 | 0.11 | 0.16 | 0.24 | 0.33 | 0.43 | 0.52 | 0.59 | 0.64 | 0.67 | 0.66 | 0.62 | 0.55 | 0.47 | 0.38 | 0.32 | 0.28 | 0.24 | 0.21 | 0.18 |
| | H | 0.17 | 0.16 | 0.15 | 0.14 | 0.13 | 0.15 | 0.20 | 0.27 | 0.36 | 0.45 | 0.52 | 0.59 | 0.62 | 0.64 | 0.62 | 0.58 | 0.51 | 0.42 | 0.35 | 0.29 | 0.26 | 0.23 | 0.21 | 0.19 |

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

Fuente: (Pita, 2002)

Anexo 10. Tasa de ganancia de calor debida a los ocupantes del recinto acondicionado

TABLA 6.11. TASAS DE GANANCIA DE CALOR DEBIDA A LOS OCUPANTES DEL RECINTO ACONDICIONADO*

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

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

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

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

^d Para el boliche, se considera una persona por pista tirando y las demás sentadas (400 BTU/h) o paradas y caminando lentamente (970 BTU/h) Reproducido con permiso del 1985 *Fundamentals. ASHRAE Handbook & Product Directory.*

Fuente: (Pita, 2002)

Anexo 11. Factores de calor sensible para cargas de enfriamiento debido a personas

TABLE 6.14 SENSIBLE HEAT COOLING LOAD FACTORS FOR PEOPLE

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

CLF = 1.0 for systems shut down at night and for high occupant densities such as in theaters and auditoriums.

Reprinted with permission from the 1989 *ASHRAE Handbook—Fundamentals.*

Fuente: (Pita, 2002)

Anexo 12. Ganancia de calor debido a aparatos domésticos

TABLA 6.13. GANANCIAS DE CALOR DEBIDAS A APARATOS DOMÉSTICOS, BTU/h

| TIPO DE APARATO | ELÉCTRICOS | | | | DE GAS | | | | DE VAPOR | | | |
|---|-------------|---------|--------|--------------------------|-------------|---------|--------|--------------------------|-------------|---------|-------|--------------------------|
| | Sin campana | | | Con campana ² | Sin campana | | | Con campana ² | Sin campana | | | Con campana ² |
| | Sensible | Latente | Total | 100% Sensible | Sensible | Latente | Total | 100% Sensible | Sensible | Latente | Total | 100% Sensible |
| Parrilla o asador de 31 in x 20 in x 18 in | | | | | 11,700 | 6,300 | 18,000 | 3,600 | | | | |
| Cafetera y calentador de café por quemador | 770 | 230 | 1,000 | 340 | 1,750 | 750 | 2,500 | 500 | | | | |
| por calentador | 230 | 70 | 300 | 90 | | | | | | | | |
| Cafetera de 3 galones | 2,550 | 850 | 3,400 | 1,000 | 3,500 | 1,500 | 5,000 | 1,000 | 2,180 | 1,120 | 3,300 | 1,000 |
| de 5 galones | 3,850 | 1,250 | 5,100 | 1,600 | 5,250 | 2,250 | 7,500 | 1,500 | 3,300 | 1,700 | 5,000 | 1,600 |
| de 8 galones (gemafas) | 5,200 | 1,600 | 6,800 | 2,100 | 7,000 | 3,000 | 10,000 | 2,000 | 4,350 | 2,250 | 6,600 | 2,100 |
| Freidor de grasa: | | | | | | | | | | | | |
| grasa # 15 | 2,800 | 6,600 | 9,400 | 3,000 | 7,500 | 7,500 | 15,000 | 3,000 | | | | |
| grasa # 21 | 4,100 | 9,600 | 13,700 | 4,300 | | | | | | | | |
| Calentador de platos secos por pie cuadrado de parte superior | 320 | 80 | 400 | 130 | 560 | 140 | 700 | 140 | | | | |
| Hancho de freír por pie cuadrado de parte superior | 3,000 | 1,600 | 4,600 | 1,500 | 4,900 | 2,600 | 7,500 | 1,500 | | | | |
| Comal (dos unidades de calentamiento) | | | | | 5,300 | 3,600 | 8,900 | 2,800 | | | | |
| Estufa de ordenes rápidos (parrillas abiertas) por quemador | | | | | 3,200 | 1,800 | 5,000 | 1,000 | | | | |
| Mesa de vapor, por pie cuadrado | | | | | 750 | 500 | 1,250 | 250 | 500 | 325 | 825 | 260 |
| Testador: | | | | | | | | | | | | |
| Continuo | 1,860 | 1,740 | 3,700 | 1,200 | 3,800 | 2,400 | 6,000 | 1,200 | | | | |
| 360 rebanadas por hora | 2,700 | 2,400 | 5,100 | 1,600 | 6,000 | 4,000 | 10,000 | 2,000 | | | | |
| 720 rebanadas por hora | 2,230 | 1,970 | 4,200 | 1,300 | | | | | | | | |
| Con expulsor de 4 rebanadas | | | | | | | | | | | | |
| Wafiera de 18 in x 20 in x 13 in (2 parrillas) | 1,680 | 1,120 | 2,800 | 900 | | | | | | | | |
| Secadora de pelo: | | | | | | | | | | | | |
| Tipo ventilador | 2,300 | 400 | 2,700 | | | | | | | | | |
| Tipo casco | 1,870 | 330 | 2,200 | | | | | | | | | |
| Mecheros de laboratorio: | | | | | | | | | | | | |
| De Sansen | | | | | 1,880 | 420 | 2,100 | | | | | |
| Cola de pescado | | | | | 2,800 | 700 | 3,500 | | | | | |
| De Meeker | | | | | 3,360 | 840 | 4,200 | | | | | |
| Aunco de nadón, por pie de tubo | 60 | | 60 | | | | | | | | | |
| Esterilizador | 650 | 1,200 | 1,850 | | | | | | | | | |
| Máquinas expendedoras: | | | | | | | | | | | | |
| De bebidas calientes | | | 1,200 | | | | | | | | | |
| De bebidas frías | | | 625 | | | | | | | | | |

Reproducido con permiso de 1972 *Fundamentals ASHRAE Handbook & Product Directory*.

Fuente: (Pita, 2002)

Anexo 13. Calor generado por equipo motorizado

TABLA 6.14. PRODUCCIÓN DE CALOR DE EQUIPO MOTORIZADO, BTU/H

| Potencia del motor | ubicación del equipo con respecto a la corriente de aire o al espacio acondicionado | | |
|--------------------|---|-----------------------------|-----------------------------|
| | Motor y máquina dentro | Motor fuera, dentro máquina | Motor dentro, máquina fuera |
| 1/8 | 580 | 320 | 260 |
| 1/8 | 710 | 430 | 280 |
| 1/4 | 1,000 | 640 | 360 |
| 1/3 | 1,290 | 850 | 440 |
| 1/2 | 1,820 | 1,280 | 640 |
| 3/4 | 2,680 | 1,930 | 750 |
| 1 | 3,220 | 2,540 | 880 |
| 1-1/2 | 4,770 | 3,820 | 960 |
| 2 | 6,380 | 5,100 | 1,280 |
| 3 | 9,450 | 7,650 | 1,800 |
| 5 | 15,600 | 12,800 | 2,800 |
| 7-1/2 | 22,500 | 19,100 | 3,400 |
| 10 | 30,000 | 25,500 | 4,500 |
| 15 | 44,500 | 38,200 | 6,300 |
| 20 | 58,500 | 51,000 | 7,600 |
| 25 | 72,400 | 63,600 | 8,800 |

Fuente: (Pita, 2002)

Anexo 14. Cambios de aire por hora en residencias por infiltración

TABLA 3.5. CAMBIOS DE AIRE POR HORA QUE SE PRESENTAN BAJO CONDICIONES PROMEDIO EN RESIDENCIAS, EXCLUYENDO EL AIRE DE VENTILACIÓN

| Tipo de recinto | Vidrio sencillo sin cinta hermética | Guardaventana o con cinta hermética |
|---|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Sin ventanas ni puertas exteriores | 0.5 | 0.3 |
| Puertas o ventanas exteriores de un lado | 1 | 0.7 |
| Puertas o ventanas exteriores en dos lados | 1.5 | 1 |
| Ventanas o puertas exteriores en tres lados | 2 | 1.3 |
| Vestibulos de entrada | 2 | 1.3 |

Fuente: (Pita, 2002)

Anexo 15. Requisitos de ventilación para ocupantes del recinto

TABLA 6.15. REQUISITOS DE VENTILACIÓN PARA OCUPANTES

| | Personas estimadas por 100 ft ² de área de piso | Aire de ventilación necesario por persona | |
|--|---|--|---------------------|
| | | FCM Mínimos | FCM Recomendados |
| RESIDENCIAL. | | | |
| Viviendas de una unidad | | | |
| Salas y recámaras | 5 | 5 | 7-10 |
| Cocinas, baños | — | 20 | 30-50 |
| Viviendas de unidades múltiples | | | |
| Salas y recámaras | 7 | 5 | 7-10 |
| Cocinas, baños | — | 20 | 30-50 |
| COMERCIAL | | | |
| Sanitarios públicos | 100 | 15 | 20-25 |
| Comercios | | | |
| Pisos de venta (sótanos y plantas bajas) | 30 | 7 | 10-15 |
| Pisos de venta (pisos superiores) | 20 | 7 | 10-15 |
| Comedores | 70 | 10 | 15-20 |
| Cocinas | 20 | 30 | 3.5 |
| Cafeterías | 100 | 30 | 3.5 |
| Hoteles, moteles | | | |
| Recámaras | 5 | 7 | 10-15 |
| Salas | 20 | 10 | 15-20 |
| Baños | — | 20 | 30-50 |
| Salas de belleza | 50 | 25 | 30-35 |
| Peluquerías | 25 | 7 | 10-15 |
| Estacionamientos | — | 1.5 | 2-3 |
| Teatros | | | |
| Vestíbulos | 150 | 20 | 25-30 |
| Auditorios (no se fuma) | 150 | 5 | 5-10 |
| Auditorios (permitido fumar) | 150 | 10 | 10-20 |
| Boliches, zona de asientos | 70 | 15 | 20-25 |
| Gimnasios y arenas | | | |
| Pisos de ejercicios | 70 | 20 | 25-30 |
| Vestidores | 20 | 30 | 40-50 |
| Áreas de público | 150 | 20 | 25-30 |
| Piscinas | 25 | 15 | 20-25 |
| Oficinas | | | |
| Espacio de oficinas en general | 10 | 15 | 15-25 |
| Salas de juntas | 60 | 25 | 30-40 |
| INSTITUCIONAL | | | |
| Escuelas | | | |
| Salones de clase | 50 | 10 | 10-15 |
| Auditorios | 150 | 5 | 5-7.5 |
| Gimnasios | 70 | 20 | 25-30 |
| Bibliotecas | 20 | 7 | 10-12 |
| Vestidores | 20 | 30 | 40-50 |
| Hospitales | | | |
| Recámaras sencillas y dobles | 15 | 10 | 15-20 |
| Guarderías | 20 | 10 | 15-20 |
| Salas de cirugía, salas de parto | — | 20 | — |

Fuente: (Pita, 2002)

Anexo 16. Cambios de aire recomendados por Greenheck

Cambios Sugeridos del Aire para una Ventilación Apropriada

$$pcm = \frac{\text{Dimensiones del lugar}}{\text{Cambio/Minutos}}$$

Dimensiones del Lugar = Largo x Ancho x Alto

| Area | Cambio/Minutos | Area | Cambio/Minutos | Area | Cambio/Minutos |
|-----------------------|----------------|-----------------------|----------------|----------------------|----------------|
| Pasillo | 3-10 | Salón de Baile | 3-7 | Tienda de Maquinaria | 3-6 |
| Atico | 2-4 | Comedor | 4-8 | Fabrica de papel | 3-8 |
| Auditorio | 3-10 | Tintoreria | 2-5 | Oficina | 2-8 |
| Panaderia | 2-3 | Cuarto de Maquinas | 1-3 | Empacadora | 2-5 |
| Bar | 2-4 | Fabrica | 2-7 | Cabina de Proyección | 1-2 |
| Establo | 12-18 | Fundición | 1-5 | Cuarto de Recreación | 2-8 |
| Cuarto de Calefacción | 1-3 | Taller | 2-10 | Residencia | 2-6 |
| Club de Boliche | 3-7 | Cuarto de Generadores | 2-5 | Restaurante | 5-10 |
| Cafeteria | 3-5 | Gimnasio | 3-8 | Cuarto de Baño | 5-7 |
| Iglesia | 4-10 | Cocina | 1-5 | Tienda | 3-7 |
| Salón de Clases | 4-6 | Laboratorio | 2-5 | Salón de Espera | 1-5 |
| Salón para Clubes | 3-7 | Lavandería | 2-4 | Almacén | 3-10 |

Fuente: (GreenHeck, 2007)

Anexo 17. Caudal de infiltración para diferencial de presión en el recinto

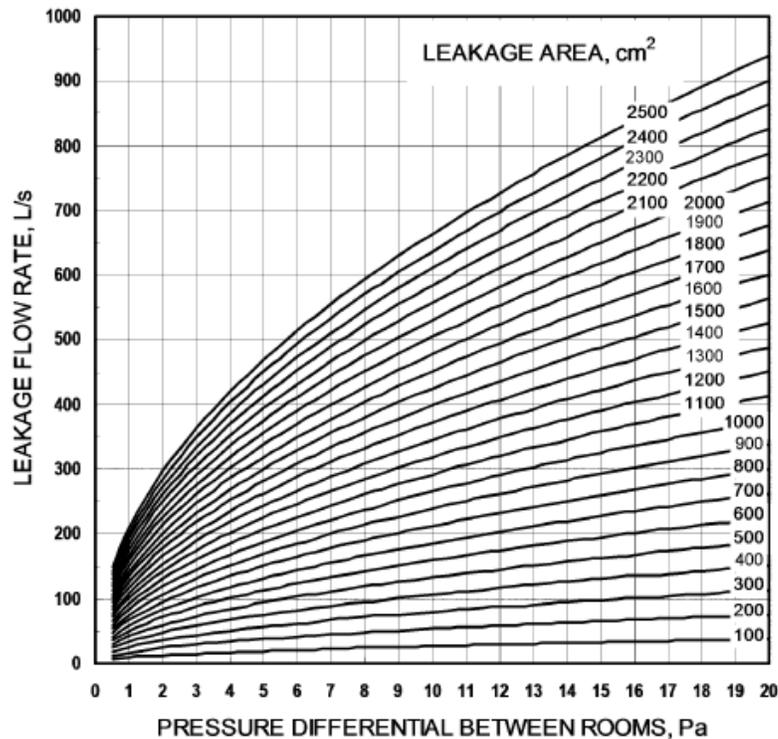
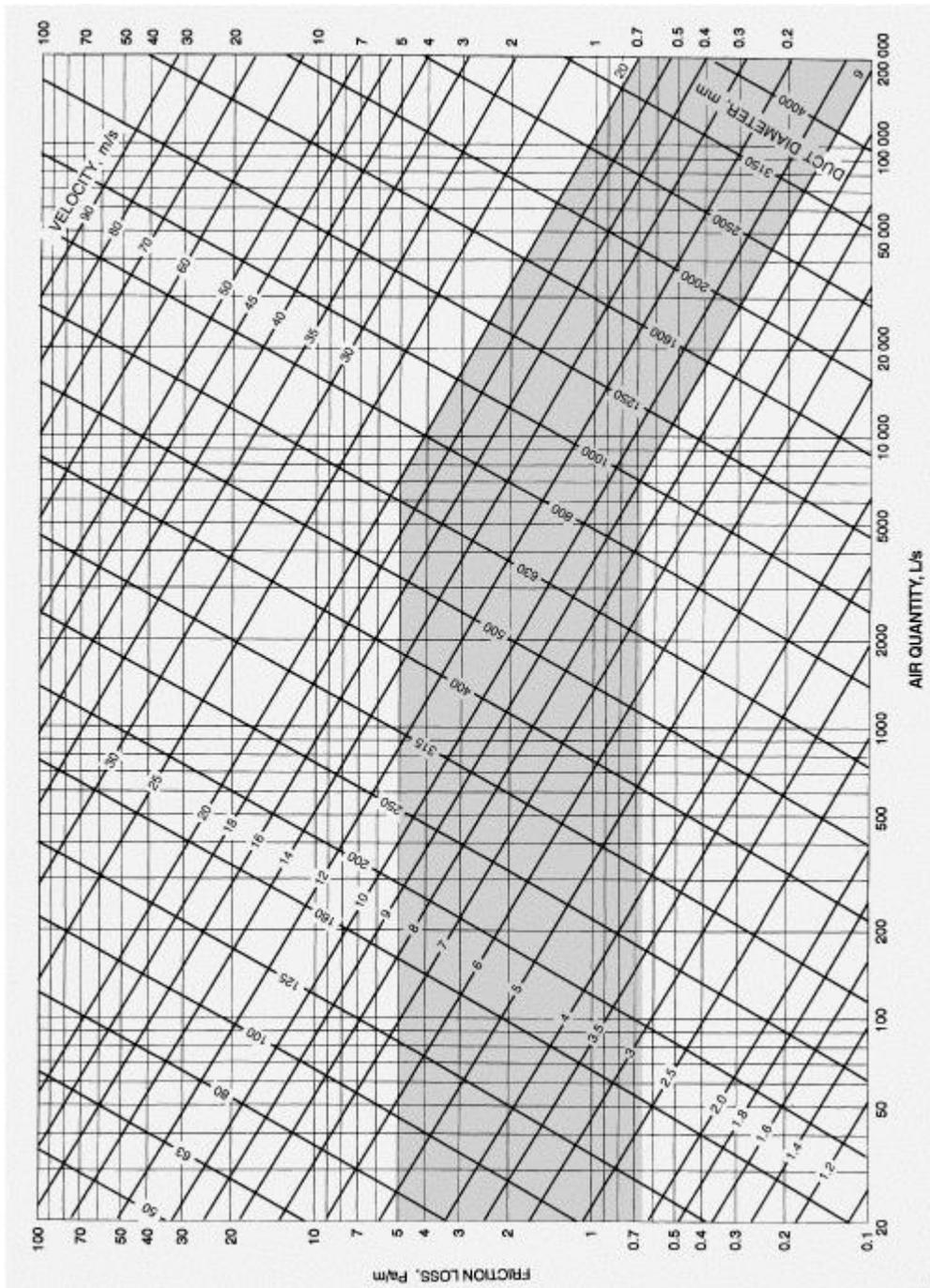


Fig. 7 Flow Rate through Leakage Area under Pressure Differential

Fuente: (ASHRAE, HANDBOOK HVAC APPLICATIONS. Chapter 16: Clean Spaces., 2007)

Anexo 18. Gráfica de pérdida de fricción para ductos redondos de hierro galvanizado



Fuente: (ASHRAE, HANDBOOK FUNDAMENTALS Inch-Pound Edition., 2009)

Anexo 19. Dimensiones para ducto según diámetro equivalente para hierro galvanizado

Table 2 Circular Equivalents of Rectangular Duct for Equal Friction and Capacity*

| Lgth Adj. ^b | Length of One Side of Rectangular Duct (a), mm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 100 | 125 | 150 | 175 | 200 | 225 | 250 | 275 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 | 550 | 600 | 650 | 700 | 750 | 800 | 900 |
| 100 | 109 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 125 | 122 | 137 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 150 | 133 | 150 | 164 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 175 | 143 | 161 | 177 | 191 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 200 | 152 | 172 | 189 | 204 | 219 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 225 | 161 | 181 | 200 | 216 | 232 | 246 | | | | | | | | | | | | | | |
| 250 | 169 | 190 | 210 | 228 | 244 | 259 | 273 | | | | | | | | | | | | | |
| 275 | 176 | 199 | 220 | 238 | 256 | 272 | 287 | 301 | | | | | | | | | | | | |
| 300 | 183 | 207 | 229 | 248 | 266 | 283 | 299 | 314 | 328 | | | | | | | | | | | |
| 350 | 195 | 222 | 245 | 267 | 286 | 305 | 322 | 339 | 354 | 383 | | | | | | | | | | |
| 400 | 207 | 235 | 260 | 283 | 305 | 325 | 343 | 361 | 378 | 409 | 437 | | | | | | | | | |
| 450 | 217 | 247 | 274 | 299 | 321 | 343 | 363 | 382 | 400 | 433 | 464 | 492 | | | | | | | | |
| 500 | 227 | 258 | 287 | 313 | 337 | 360 | 381 | 401 | 420 | 455 | 488 | 518 | 547 | | | | | | | |
| 550 | 236 | 269 | 299 | 326 | 352 | 375 | 398 | 419 | 439 | 477 | 511 | 543 | 573 | 601 | | | | | | |
| 600 | 245 | 279 | 310 | 339 | 365 | 390 | 414 | 436 | 457 | 496 | 533 | 567 | 598 | 628 | 656 | | | | | |
| 650 | 253 | 289 | 321 | 351 | 378 | 404 | 429 | 452 | 474 | 515 | 553 | 589 | 622 | 653 | 683 | 711 | | | | |
| 700 | 261 | 298 | 331 | 362 | 391 | 418 | 443 | 467 | 490 | 533 | 573 | 610 | 644 | 677 | 708 | 737 | 765 | | | |
| 750 | 268 | 306 | 341 | 373 | 402 | 430 | 457 | 482 | 506 | 550 | 592 | 630 | 666 | 700 | 732 | 763 | 792 | 820 | | |
| 800 | 275 | 314 | 350 | 383 | 414 | 442 | 470 | 496 | 520 | 567 | 609 | 649 | 687 | 722 | 755 | 787 | 818 | 847 | 875 | |
| 900 | 289 | 330 | 367 | 402 | 435 | 465 | 494 | 522 | 548 | 597 | 643 | 686 | 726 | 763 | 799 | 833 | 866 | 897 | 927 | 984 |
| 1000 | 301 | 344 | 384 | 420 | 454 | 486 | 517 | 546 | 574 | 626 | 674 | 719 | 762 | 802 | 840 | 876 | 911 | 944 | 976 | 1037 |
| 1100 | 313 | 358 | 399 | 437 | 473 | 506 | 538 | 569 | 598 | 652 | 703 | 751 | 795 | 838 | 878 | 916 | 953 | 988 | 1022 | 1086 |
| 1200 | 324 | 370 | 413 | 453 | 490 | 525 | 558 | 590 | 620 | 677 | 731 | 780 | 827 | 872 | 914 | 954 | 993 | 1030 | 1066 | 1133 |
| 1300 | 334 | 382 | 426 | 468 | 506 | 543 | 577 | 610 | 642 | 701 | 757 | 808 | 857 | 904 | 948 | 990 | 1031 | 1069 | 1107 | 1177 |
| 1400 | 344 | 394 | 439 | 482 | 522 | 559 | 595 | 629 | 662 | 724 | 781 | 835 | 886 | 934 | 980 | 1024 | 1066 | 1107 | 1146 | 1220 |
| 1500 | 353 | 404 | 452 | 495 | 536 | 575 | 612 | 648 | 681 | 745 | 805 | 860 | 913 | 963 | 1011 | 1057 | 1100 | 1143 | 1183 | 1260 |
| 1600 | 362 | 415 | 463 | 508 | 551 | 591 | 629 | 665 | 700 | 766 | 827 | 885 | 939 | 991 | 1041 | 1088 | 1133 | 1177 | 1219 | 1298 |
| 1700 | 371 | 425 | 475 | 521 | 564 | 605 | 644 | 682 | 718 | 785 | 849 | 908 | 964 | 1018 | 1069 | 1118 | 1164 | 1209 | 1253 | 1335 |
| 1800 | 379 | 434 | 485 | 533 | 577 | 619 | 660 | 698 | 735 | 804 | 869 | 930 | 988 | 1043 | 1096 | 1146 | 1195 | 1241 | 1286 | 1371 |
| 1900 | 387 | 444 | 496 | 544 | 590 | 633 | 674 | 713 | 751 | 823 | 889 | 952 | 1012 | 1068 | 1122 | 1174 | 1224 | 1271 | 1318 | 1405 |
| 2000 | 395 | 453 | 506 | 555 | 602 | 646 | 688 | 728 | 767 | 840 | 908 | 973 | 1034 | 1092 | 1147 | 1200 | 1252 | 1301 | 1348 | 1438 |
| 2100 | 402 | 461 | 516 | 566 | 614 | 659 | 702 | 743 | 782 | 857 | 927 | 993 | 1055 | 1115 | 1172 | 1226 | 1279 | 1329 | 1378 | 1470 |
| 2200 | 410 | 470 | 525 | 577 | 625 | 671 | 715 | 757 | 797 | 874 | 945 | 1013 | 1076 | 1137 | 1195 | 1251 | 1305 | 1356 | 1406 | 1501 |
| 2300 | 417 | 478 | 534 | 587 | 636 | 683 | 728 | 771 | 812 | 890 | 963 | 1031 | 1097 | 1159 | 1218 | 1275 | 1330 | 1383 | 1434 | 1532 |
| 2400 | 424 | 486 | 543 | 597 | 647 | 695 | 740 | 784 | 826 | 905 | 980 | 1050 | 1116 | 1180 | 1241 | 1299 | 1355 | 1409 | 1461 | 1561 |
| 2500 | 430 | 494 | 552 | 606 | 658 | 706 | 753 | 797 | 840 | 920 | 996 | 1068 | 1136 | 1200 | 1262 | 1322 | 1379 | 1434 | 1488 | 1589 |
| 2600 | 437 | 501 | 560 | 616 | 668 | 717 | 764 | 810 | 853 | 935 | 1012 | 1085 | 1154 | 1220 | 1283 | 1344 | 1402 | 1459 | 1513 | 1617 |
| 2700 | 443 | 509 | 569 | 625 | 678 | 728 | 776 | 822 | 866 | 950 | 1028 | 1102 | 1173 | 1240 | 1304 | 1366 | 1425 | 1483 | 1538 | 1644 |
| 2800 | 450 | 516 | 577 | 634 | 688 | 738 | 787 | 834 | 879 | 964 | 1043 | 1119 | 1190 | 1259 | 1324 | 1387 | 1447 | 1506 | 1562 | 1670 |
| 2900 | 456 | 523 | 585 | 643 | 697 | 749 | 798 | 845 | 891 | 977 | 1058 | 1135 | 1208 | 1277 | 1344 | 1408 | 1469 | 1529 | 1586 | 1696 |

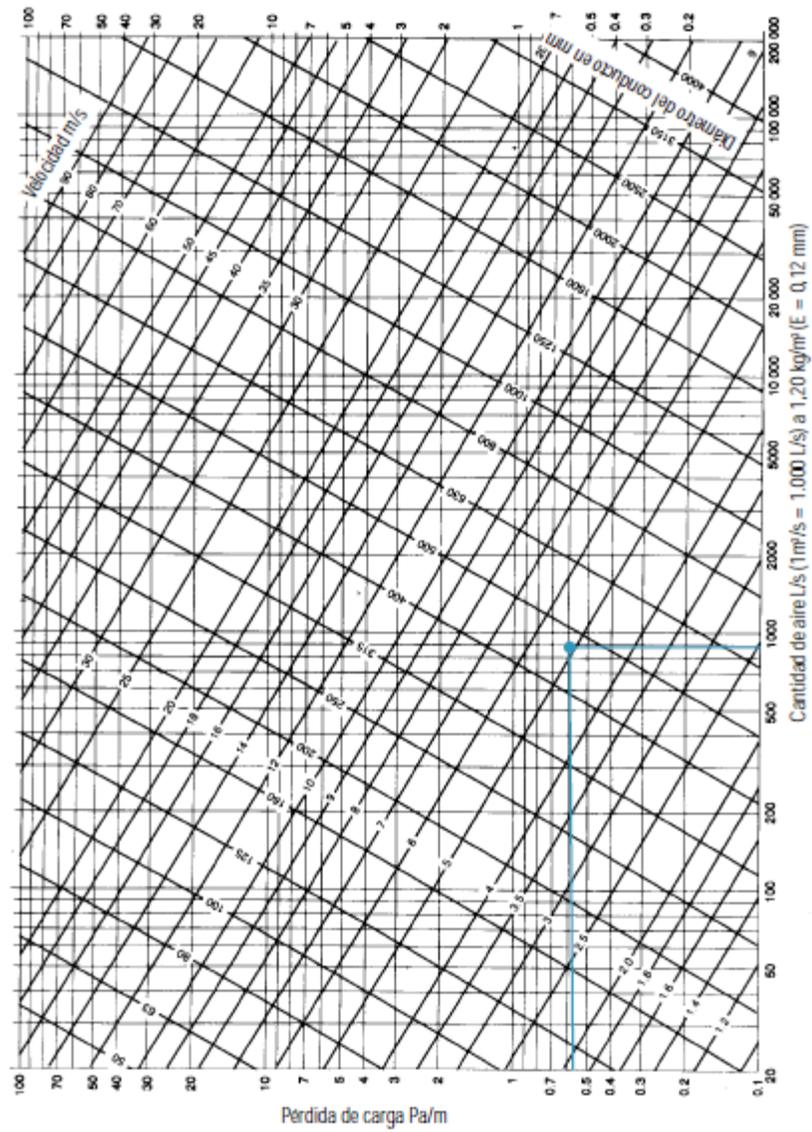
| Lgth Adj. ^b | Length One Side of Rectangular Duct (a), mm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 1000 | 1100 | 1200 | 1300 | 1400 | 1500 | 1600 | 1700 | 1800 | 1900 | 2000 | 2100 | 2200 | 2300 | 2400 | 2500 | 2600 | 2700 | 2800 | 2900 |
| 1000 | 1093 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1100 | 1146 | 1202 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1200 | 1196 | 1256 | 1312 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1300 | 1244 | 1306 | 1365 | 1421 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1400 | 1289 | 1354 | 1416 | 1475 | 1530 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1500 | 1332 | 1400 | 1464 | 1526 | 1584 | 1640 | | | | | | | | | | | | | | |
| 1600 | 1373 | 1444 | 1511 | 1574 | 1635 | 1693 | 1749 | | | | | | | | | | | | | |
| 1700 | 1413 | 1486 | 1555 | 1621 | 1684 | 1745 | 1803 | 1858 | | | | | | | | | | | | |
| 1800 | 1451 | 1527 | 1598 | 1667 | 1732 | 1794 | 1854 | 1912 | 1968 | | | | | | | | | | | |
| 1900 | 1488 | 1566 | 1640 | 1710 | 1778 | 1842 | 1904 | 1964 | 2021 | 2077 | | | | | | | | | | |
| 2000 | 1523 | 1604 | 1680 | 1753 | 1822 | 1889 | 1952 | 2014 | 2073 | 2131 | 2186 | | | | | | | | | |
| 2100 | 1558 | 1640 | 1719 | 1793 | 1865 | 1933 | 1999 | 2063 | 2124 | 2183 | 2240 | 2296 | | | | | | | | |
| 2200 | 1591 | 1676 | 1756 | 1833 | 1906 | 1977 | 2044 | 2110 | 2173 | 2233 | 2292 | 2350 | 2405 | | | | | | | |
| 2300 | 1623 | 1710 | 1793 | 1871 | 1947 | 2019 | 2088 | 2155 | 2220 | 2283 | 2343 | 2402 | 2459 | 2514 | | | | | | |
| 2400 | 1655 | 1744 | 1828 | 1909 | 1986 | 2060 | 2131 | 2200 | 2266 | 2330 | 2393 | 2453 | 2511 | 2568 | 2624 | | | | | |
| 2500 | 1685 | 1776 | 1862 | 1945 | 2024 | 2100 | 2173 | 2243 | 2311 | 2377 | 2441 | 2502 | 2562 | 2621 | 2678 | 2733 | | | | |
| 2600 | 1715 | 1808 | 1896 | 1980 | 2061 | 2139 | 2213 | 2285 | 2355 | 2422 | 2487 | 2551 | 2612 | 2672 | 2730 | 2787 | 2842 | | | |
| 2700 | 1744 | 1839 | 1929 | 2015 | 2097 | 2177 | 2253 | 2327 | 2398 | 2466 | 2533 | 2598 | 2661 | 2722 | 2782 | 2840 | 2896 | 2952 | | |
| 2800 | 1772 | 1869 | 1961 | 2048 | 2133 | 2214 | 2292 | 2367 | 2439 | 2510 | 2578 | 2644 | 2708 | 2771 | 2832 | 2891 | 2949 | 3006 | 3061 | |
| 2900 | 1800 | 1898 | 1992 | 2081 | 2167 | 2250 | 2329 | 2406 | 2480 | 2552 | 2621 | 2689 | 2755 | 2819 | 2881 | 2941 | 3001 | 3058 | 3115 | 3170 |

*Table based on $D_e = 1.30(a^0.625)(a + b)^{0.25}$.

^bLength adjacent side of rectangular duct (b), mm.

Fuente: (ASHRAE, HANDBOOK FUNDAMENTALS Inch-Pound Edition., 2009)

Anexo 20. Gráfica de pérdida de fricción para ductos redondos de P3



Fuente: (Ductal, 1999)

Anexo 21. Dimensiones para ducto según diámetro equivalente para P3

| | 150 | | 200 | | 250 | | 300 | | 350 | | 400 | | 450 | | 500 | |
|------|---------------|----------------------------|---------------|----------------------------|---------------|----------------------------|---------------|----------------------------|---------------|----------------------------|---------------|----------------------------|---------------|----------------------------|---------------|----------------------------|
| | Diam. [mm] | Secc. [m ²] |
| 150 | 164 | 0,0211 | | | | | | | | | | | | | | |
| 200 | 189 | 0,028 | 219 | 0,0376 | | | | | | | | | | | | |
| 250 | 210 | 0,0346 | 244 | 0,0467 | 273 | 0,0585 | | | | | | | | | | |
| 300 | 229 | 0,0412 | 266 | 0,0555 | 299 | 0,0702 | 328 | 0,0845 | | | | | | | | |
| 350 | 245 | 0,0471 | 286 | 0,0642 | 322 | 0,0814 | 354 | 0,0984 | 383 | 0,1152 | | | | | | |
| 400 | 260 | 0,0531 | 305 | 0,073 | 343 | 0,0924 | 378 | 0,1122 | 409 | 0,1313 | 437 | 0,1499 | | | | |
| 450 | 274 | 0,0589 | 321 | 0,0809 | 363 | 0,1034 | 400 | 0,1256 | 433 | 0,1472 | 464 | 0,169 | 492 | 0,19 | | |
| 500 | 287 | 0,0647 | 337 | 0,0892 | 381 | 0,114 | 420 | 0,1385 | 455 | 0,1625 | 488 | 0,1869 | 518 | 0,2106 | 547 | 0,2349 |
| 550 | 299 | 0,0702 | 352 | 0,0973 | 398 | 0,1243 | 439 | 0,1513 | 477 | 0,1786 | 511 | 0,205 | 543 | 0,2315 | 573 | 0,2577 |
| 600 | 310 | 0,0754 | 365 | 0,1046 | 414 | 0,1345 | 457 | 0,1639 | 496 | 0,1931 | 533 | 0,223 | 567 | 0,2524 | 598 | 0,2807 |
| 650 | 321 | 0,0809 | 378 | 0,1122 | 429 | 0,1445 | 474 | 0,1764 | 515 | 0,2082 | 553 | 0,2401 | 589 | 0,2723 | 622 | 0,3037 |
| 700 | 331 | 0,086 | 391 | 0,12 | 443 | 0,1541 | 490 | 0,1885 | 533 | 0,223 | 573 | 0,2577 | 610 | 0,2921 | 644 | 0,3256 |
| 750 | 341 | 0,0913 | 402 | 0,1269 | 457 | 0,1639 | 506 | 0,201 | 550 | 0,2375 | 582 | 0,2751 | 630 | 0,3116 | 666 | 0,3482 |
| 800 | 350 | 0,0962 | 414 | 0,1345 | 470 | 0,1734 | 520 | 0,2123 | 567 | 0,2524 | 609 | 0,2911 | 649 | 0,3306 | 687 | 0,3705 |
| 850 | 359 | 0,1012 | 424 | 0,1411 | 482 | 0,1824 | 534 | 0,2238 | 582 | 0,2669 | 626 | 0,3076 | 668 | 0,3503 | 706 | 0,3913 |
| 900 | 367 | 0,1057 | 435 | 0,1485 | 494 | 0,1916 | 548 | 0,2357 | 597 | 0,2798 | 643 | 0,3246 | 686 | 0,3694 | 726 | 0,4138 |
| 950 | 376 | 0,111 | 445 | 0,1554 | 506 | 0,201 | 561 | 0,2471 | 612 | 0,294 | 659 | 0,3409 | 703 | 0,388 | 744 | 0,4345 |
| 1000 | 384 | 0,1158 | 454 | 0,1618 | 517 | 0,2098 | 574 | 0,2586 | 626 | 0,3076 | 674 | 0,3566 | 719 | 0,4058 | 762 | 0,4558 |
| 1050 | 391 | 0,12 | 464 | 0,169 | 528 | 0,2188 | 586 | 0,2696 | 639 | 0,3205 | 689 | 0,3727 | 735 | 0,4241 | 779 | 0,4764 |
| 1100 | 399 | 0,125 | 473 | 0,1756 | 538 | 0,2272 | 598 | 0,2807 | 652 | 0,3337 | 703 | 0,388 | 751 | 0,4427 | 795 | 0,4961 |
| 1150 | 406 | 0,1294 | 481 | 0,1816 | 548 | 0,2357 | 609 | 0,2911 | 665 | 0,3471 | 717 | 0,4036 | 766 | 0,4606 | 812 | 0,5176 |
| 1200 | 413 | 0,1339 | 490 | 0,1885 | 558 | 0,2444 | 620 | 0,3018 | 677 | 0,3598 | 731 | 0,4195 | 780 | 0,4776 | 827 | 0,5309 |
| 1250 | | | 498 | 0,1947 | 568 | 0,2533 | 631 | 0,3126 | 689 | 0,3727 | 744 | 0,4345 | 795 | 0,4961 | 843 | 0,5579 |
| 1300 | | | 506 | 0,201 | 577 | 0,2613 | 642 | 0,3235 | 701 | 0,3857 | 757 | 0,4498 | 808 | 0,5125 | 857 | 0,5765 |
| 1350 | | | 514 | 0,2074 | 586 | 0,2696 | 652 | 0,3337 | 713 | 0,3991 | 769 | 0,4642 | 822 | 0,5304 | 872 | 0,5909 |
| 1400 | | | | | 595 | 0,2779 | 662 | 0,344 | 724 | 0,4115 | 781 | 0,4788 | 835 | 0,5473 | 886 | 0,6162 |
| 1450 | | | | | 604 | 0,2864 | 672 | 0,3545 | 735 | 0,4241 | 793 | 0,4936 | 848 | 0,5645 | 900 | 0,6359 |
| 1500 | | | | | 612 | 0,294 | 681 | 0,3641 | 745 | 0,4357 | 805 | 0,5087 | 860 | 0,5806 | 913 | 0,6544 |
| 1550 | | | | | 621 | 0,3027 | 691 | 0,3748 | 756 | 0,4487 | 816 | 0,5227 | 873 | 0,5983 | 926 | 0,6731 |
| 1600 | | | | | | | 700 | 0,3847 | 766 | 0,4606 | 827 | 0,5369 | 885 | 0,6148 | 939 | 0,6922 |
| 1650 | | | | | | | 709 | 0,3946 | 776 | 0,4727 | 838 | 0,5513 | 897 | 0,6316 | 952 | 0,7114 |
| 1700 | | | | | | | 718 | 0,4047 | 785 | 0,4837 | 849 | 0,5658 | 908 | 0,6472 | 964 | 0,7295 |
| 1750 | | | | | | | 726 | 0,4138 | 795 | 0,4961 | 859 | 0,5792 | 919 | 0,663 | 976 | 0,7478 |
| 1800 | | | | | | | 735 | 0,4241 | 804 | 0,5074 | 869 | 0,5928 | 930 | 0,6789 | 988 | 0,7663 |
| 1850 | | | | | | | 743 | 0,4334 | 814 | 0,5201 | 879 | 0,6065 | 941 | 0,6951 | 1000 | 0,785 |
| 1900 | | | | | | | 751 | 0,4427 | 823 | 0,5317 | 889 | 0,6204 | 952 | 0,7114 | 1012 | 0,804 |
| 1950 | | | | | | | 759 | 0,4522 | 831 | 0,5421 | 899 | 0,6344 | 963 | 0,728 | 1023 | 0,8215 |
| 2000 | | | | | | | 767 | 0,4618 | 840 | 0,5539 | 908 | 0,6472 | 973 | 0,7432 | 1034 | 0,8393 |
| 2050 | | | | | | | 775 | 0,4715 | 849 | 0,5658 | 918 | 0,6615 | 983 | 0,7585 | 1045 | 0,8572 |
| 2100 | | | | | | | 782 | 0,48 | 857 | 0,5765 | 927 | 0,6746 | 993 | 0,774 | 1055 | 0,8737 |
| 2150 | | | | | | | 790 | 0,4899 | 866 | 0,5887 | 936 | 0,6877 | 1003 | 0,7897 | 1066 | 0,892 |
| 2200 | | | | | | | 797 | 0,4986 | 874 | 0,5996 | 945 | 0,701 | 1013 | 0,8055 | 1076 | 0,9089 |
| 2250 | | | | | | | 805 | 0,5087 | 882 | 0,6107 | 954 | 0,7144 | 1022 | 0,8199 | 1087 | 0,9275 |
| 2300 | | | | | | | 812 | 0,5176 | 890 | 0,6218 | 963 | 0,728 | 1031 | 0,8344 | 1097 | 0,9447 |
| 2350 | | | | | | | 819 | 0,5265 | 898 | 0,633 | 971 | 0,7401 | 1041 | 0,8507 | 1107 | 0,962 |
| 2400 | | | | | | | 826 | 0,5356 | 905 | 0,6429 | 980 | 0,7539 | 1050 | 0,8655 | 1116 | 0,9777 |
| 2450 | | | | | | | 833 | 0,5447 | 913 | 0,6544 | 988 | 0,7663 | 1059 | 0,8804 | 1126 | 0,9953 |
| 2500 | | | | | | | 840 | 0,5539 | 920 | 0,6644 | 996 | 0,7787 | 1068 | 0,8954 | 1136 | 1,013 |
| 2550 | | | | | | | | | 928 | 0,676 | 1004 | 0,7913 | 1076 | 0,9089 | 1145 | 1,0292 |
| 2600 | | | | | | | | | 935 | 0,6863 | 1012 | 0,804 | 1085 | 0,9241 | 1154 | 1,0454 |
| 2650 | | | | | | | | | 942 | 0,6966 | 1020 | 0,8167 | 1094 | 0,9395 | 1163 | 1,0618 |
| 2700 | | | | | | | | | 950 | 0,7085 | 1028 | 0,8296 | 1102 | 0,9533 | 1173 | 1,0801 |
| 2750 | | | | | | | | | 957 | 0,7189 | 1036 | 0,8425 | 1110 | 0,9672 | 1181 | 1,0949 |
| 2800 | | | | | | | | | 964 | 0,7295 | 1043 | 0,854 | 1119 | 0,9829 | 1190 | 1,1116 |
| 2850 | | | | | | | | | 970 | 0,7386 | 1051 | 0,8671 | 1127 | 0,9971 | 1199 | 1,1285 |
| 2900 | | | | | | | | | 977 | 0,7493 | 1058 | 0,8787 | 1135 | 1,0113 | 1208 | 1,1455 |
| 2950 | | | | | | | | | 984 | 0,7601 | 1066 | 0,892 | 1143 | 1,0256 | 1216 | 1,1607 |
| 3000 | | | | | | | | | 991 | 0,7709 | 1073 | 0,9038 | 1151 | 1,04 | 1225 | 1,178 |

| | 550 | | 600 | | 650 | | 700 | | 750 | | 800 | | 850 | | 900 | | 950 | | 1000 | | |
|------|---------------|----------------------------|---------------|----------------------------|---------------|----------------------------|---------------|----------------------------|---------------|----------------------------|---------------|----------------------------|---------------|----------------------------|---------------|----------------------------|---------------|----------------------------|---------------|----------------------------|--|
| | Diam. (mm) | Secc. (m ²) | |
| 150 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 200 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 250 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 300 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 350 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 400 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 450 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 500 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 550 | 601 | 0,2835 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 600 | 628 | 0,3096 | 656 | 0,3378 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 650 | 653 | 0,3347 | 683 | 0,3662 | 711 | 0,3968 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 700 | 677 | 0,3598 | 708 | 0,3935 | 737 | 0,4264 | 765 | 0,4594 | | | | | | | | | | | | | |
| 750 | 700 | 0,3847 | 732 | 0,4206 | 763 | 0,457 | 792 | 0,4924 | 820 | 0,5278 | | | | | | | | | | | |
| 800 | 722 | 0,4092 | 755 | 0,4475 | 787 | 0,4862 | 818 | 0,5253 | 847 | 0,5632 | 875 | 0,601 | | | | | | | | | |
| 850 | 743 | 0,4334 | 778 | 0,4751 | 811 | 0,5163 | 842 | 0,5565 | 872 | 0,5969 | 901 | 0,6373 | 929 | 0,678 | | | | | | | |
| 900 | 763 | 0,457 | 799 | 0,5011 | 833 | 0,5447 | 866 | 0,5887 | 897 | 0,6316 | 927 | 0,6746 | 956 | 0,717 | 984 | 0,760 | | | | | |
| 950 | 783 | 0,4813 | 820 | 0,5278 | 855 | 0,5739 | 889 | 0,6204 | 921 | 0,6669 | 952 | 0,7114 | 982 | 0,757 | 1011 | 0,802 | 1039 | 0,847 | | | |
| 1000 | 802 | 0,5049 | 840 | 0,5539 | 876 | 0,6024 | 911 | 0,6515 | 944 | 0,6995 | 976 | 0,7478 | 1007 | 0,796 | 1037 | 0,844 | 1065 | 0,890 | 1093 | 0,938 | |
| 1050 | 820 | 0,5278 | 859 | 0,5792 | 897 | 0,6316 | 932 | 0,6819 | 967 | 0,734 | 1000 | 0,785 | 1031 | 0,834 | 1062 | 0,885 | 1091 | 0,934 | 1120 | 0,985 | |
| 1100 | 838 | 0,5513 | 878 | 0,6051 | 916 | 0,6587 | 953 | 0,7129 | 988 | 0,7663 | 1022 | 0,8199 | 1055 | 0,874 | 1086 | 0,926 | 1117 | 0,979 | 1146 | 1,031 | |
| 1150 | 855 | 0,5739 | 896 | 0,6302 | 936 | 0,6877 | 973 | 0,7432 | 1009 | 0,7992 | 1044 | 0,8556 | 1078 | 0,912 | 1110 | 0,967 | 1141 | 1,022 | 1172 | 1,078 | |
| 1200 | 872 | 0,5969 | 914 | 0,6568 | 954 | 0,7144 | 993 | 0,774 | 1030 | 0,8328 | 1066 | 0,892 | 1100 | 0,950 | 1133 | 1,008 | 1165 | 1,065 | 1196 | 1,123 | |
| 1250 | 888 | 0,619 | 931 | 0,6804 | 973 | 0,7432 | 1012 | 0,804 | 1050 | 0,8655 | 1086 | 0,9258 | 1122 | 0,988 | 1156 | 1,049 | 1188 | 1,108 | 1220 | 1,168 | |
| 1300 | 904 | 0,6415 | 948 | 0,7055 | 990 | 0,7694 | 1031 | 0,8344 | 1069 | 0,8971 | 1107 | 0,962 | 1143 | 1,026 | 1177 | 1,088 | 1211 | 1,151 | 1244 | 1,215 | |
| 1350 | 919 | 0,663 | 964 | 0,7295 | 1007 | 0,796 | 1049 | 0,8638 | 1088 | 0,9292 | 1126 | 0,9953 | 1163 | 1,062 | 1199 | 1,129 | 1233 | 1,193 | 1267 | 1,260 | |
| 1400 | 934 | 0,6848 | 980 | 0,7539 | 1024 | 0,8231 | 1066 | 0,892 | 1107 | 0,962 | 1146 | 1,031 | 1183 | 1,099 | 1220 | 1,168 | 1255 | 1,236 | 1289 | 1,304 | |
| 1450 | 949 | 0,707 | 996 | 0,7787 | 1041 | 0,8507 | 1084 | 0,9224 | 1125 | 0,9935 | 1165 | 1,0654 | 1203 | 1,136 | 1240 | 1,207 | 1276 | 1,278 | 1311 | 1,349 | |
| 1500 | 963 | 0,728 | 1011 | 0,8024 | 1057 | 0,877 | 1100 | 0,9499 | 1143 | 1,0256 | 1183 | 1,0986 | 1222 | 1,172 | 1260 | 1,246 | 1297 | 1,321 | 1332 | 1,393 | |
| 1550 | 977 | 0,7493 | 1026 | 0,8264 | 1072 | 0,9021 | 1117 | 0,9794 | 1160 | 1,0563 | 1201 | 1,1323 | 1241 | 1,209 | 1279 | 1,284 | 1317 | 1,362 | 1353 | 1,437 | |
| 1600 | 991 | 0,7709 | 1041 | 0,8507 | 1088 | 0,9292 | 1133 | 1,0077 | 1177 | 1,0875 | 1219 | 1,1665 | 1259 | 1,244 | 1298 | 1,323 | 1336 | 1,401 | 1373 | 1,480 | |
| 1650 | 1005 | 0,7929 | 1055 | 0,8737 | 1103 | 0,955 | 1149 | 1,0364 | 1193 | 1,1173 | 1236 | 1,1992 | 1277 | 1,280 | 1317 | 1,362 | 1356 | 1,443 | 1393 | 1,523 | |
| 1700 | 1018 | 0,8135 | 1069 | 0,8971 | 1118 | 0,9812 | 1164 | 1,0636 | 1209 | 1,1474 | 1253 | 1,2325 | 1295 | 1,317 | 1335 | 1,399 | 1375 | 1,484 | 1413 | 1,567 | |
| 1750 | 1031 | 0,8344 | 1082 | 0,919 | 1132 | 1,0059 | 1180 | 1,093 | 1225 | 1,178 | 1270 | 1,2661 | 1312 | 1,351 | 1353 | 1,437 | 1393 | 1,523 | 1432 | 1,610 | |
| 1800 | 1043 | 0,854 | 1096 | 0,943 | 1146 | 1,031 | 1195 | 1,121 | 1241 | 1,209 | 1286 | 1,2982 | 1329 | 1,387 | 1371 | 1,476 | 1412 | 1,565 | 1451 | 1,653 | |
| 1850 | 1056 | 0,8754 | 1109 | 0,9655 | 1160 | 1,0563 | 1209 | 1,1474 | 1256 | 1,2384 | 1302 | 1,3307 | 1346 | 1,422 | 1388 | 1,512 | 1430 | 1,605 | 1470 | 1,696 | |
| 1900 | 1068 | 0,8954 | 1122 | 0,9882 | 1174 | 1,0819 | 1224 | 1,1761 | 1271 | 1,2681 | 1318 | 1,3636 | 1362 | 1,456 | 1405 | 1,550 | 1447 | 1,644 | 1488 | 1,738 | |
| 1950 | 1080 | 0,9156 | 1135 | 1,0113 | 1187 | 1,106 | 1238 | 1,2031 | 1286 | 1,2982 | 1333 | 1,3949 | 1378 | 1,491 | 1422 | 1,587 | 1465 | 1,685 | 1506 | 1,780 | |
| 2000 | 1092 | 0,9361 | 1147 | 1,0328 | 1200 | 1,1304 | 1252 | 1,2305 | 1301 | 1,3287 | 1348 | 1,4264 | 1394 | 1,525 | 1438 | 1,623 | 1482 | 1,724 | 1523 | 1,821 | |
| 2050 | 1104 | 0,9568 | 1160 | 1,0563 | 1213 | 1,155 | 1265 | 1,2562 | 1315 | 1,3574 | 1363 | 1,4583 | 1410 | 1,561 | 1455 | 1,662 | 1498 | 1,762 | 1541 | 1,864 | |
| 2100 | 1115 | 0,9759 | 1172 | 1,0783 | 1226 | 1,1799 | 1279 | 1,2841 | 1329 | 1,3865 | 1378 | 1,4906 | 1425 | 1,594 | 1470 | 1,696 | 1515 | 1,802 | 1558 | 1,906 | |
| 2150 | 1126 | 0,9953 | 1184 | 1,1005 | 1239 | 1,2051 | 1292 | 1,3104 | 1343 | 1,4159 | 1392 | 1,5211 | 1440 | 1,628 | 1486 | 1,733 | 1531 | 1,840 | 1574 | 1,945 | |
| 2200 | 1137 | 1,0148 | 1195 | 1,121 | 1251 | 1,2285 | 1305 | 1,3369 | 1356 | 1,4434 | 1406 | 1,5518 | 1455 | 1,662 | 1501 | 1,769 | 1547 | 1,879 | 1591 | 1,987 | |
| 2250 | 1148 | 1,0346 | 1207 | 1,1436 | 1263 | 1,2522 | 1318 | 1,3636 | 1370 | 1,4734 | 1420 | 1,5829 | 1469 | 1,694 | 1517 | 1,807 | 1563 | 1,918 | 1607 | 2,027 | |
| 2300 | 1159 | 1,0545 | 1218 | 1,1646 | 1275 | 1,2761 | 1330 | 1,3886 | 1383 | 1,5015 | 1434 | 1,6142 | 1484 | 1,729 | 1532 | 1,842 | 1578 | 1,955 | 1623 | 2,068 | |
| 2350 | 1169 | 1,0728 | 1230 | 1,1876 | 1287 | 1,3002 | 1343 | 1,4159 | 1396 | 1,5298 | 1448 | 1,6459 | 1498 | 1,762 | 1546 | 1,876 | 1593 | 1,992 | 1639 | 2,109 | |
| 2400 | 1180 | 1,093 | 1241 | 1,209 | 1299 | 1,3246 | 1355 | 1,4413 | 1409 | 1,5584 | 1461 | 1,6756 | 1512 | 1,795 | 1561 | 1,913 | 1608 | 2,030 | 1655 | 2,150 | |
| 2450 | 1190 | 1,1116 | 1252 | 1,2305 | 1310 | 1,3471 | 1367 | 1,4669 | 1422 | 1,5873 | 1474 | 1,7056 | 1526 | 1,828 | 1575 | 1,947 | 1623 | 2,068 | 1670 | 2,189 | |
| 2500 | 1200 | 1,1304 | 1262 | 1,2502 | 1322 | 1,3719 | 1379 | 1,4928 | 1434 | 1,6142 | 1488 | 1,7381 | 1539 | 1,859 | 1589 | 1,982 | 1638 | 2,106 | 1685 | 2,229 | |
| 2550 | 1210 | 1,1493 | 1273 | 1,2721 | 1333 | 1,3949 | 1391 | 1,5189 | 1446 | 1,6414 | 1500 | 1,7663 | 1553 | 1,893 | 1603 | 2,017 | 1652 | 2,142 | 1700 | 2,269 | |
| 2600 | 1220 | 1,1684 | 1283 | 1,2922 | 1344 | 1,418 | 1402 | 1,543 | 1459 | 1,671 | 1513 | 1,797 | 1566 | 1,925 | 1617 | 2,053 | 1667 | 2,181 | 1715 | 2,309 | |
| 2650 | 1230 | 1,1876 | 1294 | 1,3144 | 1355 | 1,4413 | 1414 | 1,5695 | 1471 | 1,6986 | 1526 | 1,828 | 1579 | 1,957 | 1630 | 2,086 | 1681 | 2,218 | 1729 | 2,347 | |
| 2700 | 1240 | 1,207 | 1304 | 1,3348 | 1366 | 1,4648 | 1425 | 1,594 | 1483 | 1,7264 | 1538 | 1,8569 | 1592 | 1,990 | 1644 | 2,122 | 1695 | 2,255 | 1744 | 2,388 | |
| 2750 | 1249 | 1,2246 | 1314 | 1,3554 | 1376 | 1,4863 | 1436 | 1,6187 | 1494 | 1,7521 | 1550 | 1,886 | 1604 | 2,020 | 1657 | 2,155 | 1708 | 2,290 | 1758 | 2,426 | |
| 2800 | 1259 | 1,2443 | 1324 | 1,3761 | 1387 | 1,5102 | 1447 | 1,6436 | 1506 | 1,7804 | 1562 | 1,9153 | 1617 | 2,053 | 1670 | 2,189 | 1722 | 2,328 | 1772 | 2,465 | |
| 2850 | 1268 | 1,2621 | 1334 | 1,397 | 1397 | 1,532 | 1458 | 1,6687 | 1517 | 1,8065 | 1574 | 1,9448 | 1630 | 2,086 | 1683 | 2,224 | 1735 | 2,363 | 1786 | 2,504 | |
| 2900 | 1277 | 1,2801 | 1344 | 1,418 | 1408 | 1,5562 | 1469 | 1,694 | 1529 | 1,8352 | 1586 | 1,9746 | 1642 | 2,117 | 1696 | 2,258 | 1748 | 2,399 | 1800 | 2,543 | |
| 2950 | 1286 | 1,2982 | 1353 | 1,437 | 1418 | 1,5784 | 1480 | 1,7195 | 1540 | 1,8617 | 1598 | 2,0046 | 1654 | 2,148 | 1709 | 2,293 | 1762 | 2,437 | 1813 | 2,580 | |
| 3000 | 1295 | 1,3165 | 1363 | 1,4583 | 1428 | 1,6008 | 1490 | 1,7428 | 1551 | 1,8884 | 1609 | 2,0323 | 1666 | 2,179 | 1721 | 2,325 | 1774 | 2,471 | 1827 | 2,620 | |

Fuente: (Ductal, 1999)

Anexo 22. Velocidades sugeridas en sistemas de acondicionamiento de aire

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 ^a | 500 | 500 | 500 | 800 | 900 | 1200 |
| Filtros ^a | 250 | 300 | 350 | 300 | 350 | 350 |
| Serpentines de calentamiento ^a | 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 |

^a 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, 2002)

Anexo 23. Coeficientes de pérdidas de presión en accesorios rectangulares

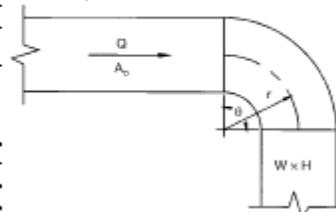
RECTANGULAR FITTINGS

CR3-1 Elbow, Smooth Radius, Without Vanes

| r/W | C _p Values | | | | | | | | | | |
|------|-----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 0.25 | 0.50 | 0.75 | 1.0 | 1.50 | 2.0 | 3.0 | 4.0 | 5.0 | 6.0 | 8.0 |
| 0.50 | 1.53 | 1.38 | 1.29 | 1.18 | 1.06 | 1.00 | 1.00 | 1.06 | 1.12 | 1.16 | 1.18 |
| 0.75 | 0.57 | 0.52 | 0.48 | 0.44 | 0.40 | 0.39 | 0.39 | 0.40 | 0.42 | 0.43 | 0.44 |
| 1.00 | 0.27 | 0.25 | 0.23 | 0.21 | 0.19 | 0.18 | 0.18 | 0.19 | 0.20 | 0.21 | 0.21 |
| 1.50 | 0.22 | 0.20 | 0.19 | 0.17 | 0.15 | 0.14 | 0.14 | 0.15 | 0.16 | 0.17 | 0.17 |
| 2.00 | 0.20 | 0.18 | 0.16 | 0.15 | 0.14 | 0.13 | 0.13 | 0.14 | 0.14 | 0.15 | 0.15 |

| Angle Factor K | | | | | | | | | | | |
|----------------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| θ | 0 | 20 | 30 | 45 | 60 | 75 | 90 | 110 | 130 | 150 | 180 |
| K | 0.0 | 0.31 | 0.45 | 0.60 | 0.78 | 0.90 | 1.00 | 1.13 | 1.20 | 1.28 | 1.40 |

$C_p = KC_p$, where K = angle factor



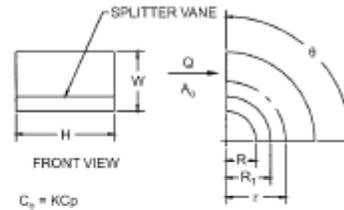
CR3-3 Elbow, Smooth Radius, One Splitter Vane

| C_p Values | | | | | | | | | | | |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| r/W | 0.25 | 0.50 | 1.0 | 1.50 | 2.0 | 3.0 | 4.0 | 5.0 | 6.0 | 7.0 | 8.0 |
| 0.55 | 0.52 | 0.40 | 0.43 | 0.49 | 0.55 | 0.66 | 0.75 | 0.84 | 0.93 | 1.01 | 1.09 |
| 0.60 | 0.36 | 0.27 | 0.25 | 0.28 | 0.30 | 0.35 | 0.39 | 0.42 | 0.46 | 0.49 | 0.52 |
| 0.65 | 0.28 | 0.21 | 0.18 | 0.19 | 0.20 | 0.22 | 0.25 | 0.26 | 0.28 | 0.30 | 0.32 |
| 0.70 | 0.22 | 0.16 | 0.14 | 0.14 | 0.15 | 0.16 | 0.17 | 0.18 | 0.19 | 0.20 | 0.21 |
| 0.75 | 0.18 | 0.13 | 0.11 | 0.11 | 0.11 | 0.12 | 0.13 | 0.14 | 0.14 | 0.15 | 0.15 |
| 0.80 | 0.15 | 0.11 | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.11 | 0.11 |
| 0.85 | 0.13 | 0.09 | 0.08 | 0.07 | 0.07 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.09 | 0.09 |
| 0.90 | 0.11 | 0.08 | 0.07 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.07 |
| 0.95 | 0.10 | 0.07 | 0.06 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.06 | 0.06 | 0.06 |
| 1.00 | 0.09 | 0.06 | 0.05 | 0.05 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 |

| Angle Factor K | | | | | |
|------------------|------|------|------|------|------|
| θ | 0 | 30 | 45 | 60 | 90 |
| K | 0.00 | 0.45 | 0.60 | 0.78 | 1.00 |

| Curve Ratio CR | | | | | | | | | | |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| r/W | 0.55 | 0.60 | 0.65 | 0.70 | 0.75 | 0.80 | 0.85 | 0.90 | 0.95 | 1.0 |
| CR | 0.218 | 0.302 | 0.361 | 0.408 | 0.447 | 0.480 | 0.509 | 0.535 | 0.557 | 0.577 |

| Throat Radius/Width Ratio (R/W) | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| r/W | 0.55 | 0.60 | 0.65 | 0.70 | 0.75 | 0.80 | 0.85 | 0.90 | 0.95 | 1.0 |
| R/W | 0.05 | 0.10 | 0.15 | 0.20 | 0.25 | 0.30 | 0.35 | 0.40 | 0.45 | 0.50 |

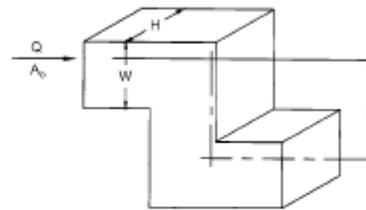


$C_p = KCp$
 $R_1 = R/CR$
 where
 R = throat radius
 R_1 = splitter vane radius
 CR = curve ratio
 K = angle factor

CR3-17 Elbow, Z-Shaped

| C_p Values | | | | | | | | | | | | | |
|--------------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| H/W | 0.0 | 0.4 | 0.6 | 0.8 | 1.0 | 1.2 | 1.4 | 1.6 | 1.8 | 2.0 | 4.0 | 8.0 | 10.0 |
| 0.25 | 0.0 | 0.68 | 0.99 | 1.77 | 2.89 | 3.97 | 4.41 | 4.60 | 4.64 | 4.60 | 3.39 | 3.03 | 2.70 |
| 0.50 | 0.0 | 0.66 | 0.96 | 1.72 | 2.81 | 3.86 | 4.29 | 4.47 | 4.52 | 4.47 | 3.30 | 2.94 | 2.62 |
| 0.75 | 0.0 | 0.64 | 0.94 | 1.67 | 2.74 | 3.75 | 4.17 | 4.35 | 4.39 | 4.35 | 3.20 | 2.86 | 2.55 |
| 1.0 | 0.0 | 0.62 | 0.90 | 1.61 | 2.63 | 3.61 | 4.01 | 4.18 | 4.22 | 4.18 | 3.08 | 2.75 | 2.45 |
| 1.5 | 0.0 | 0.59 | 0.86 | 1.53 | 2.50 | 3.43 | 3.81 | 3.97 | 4.01 | 3.97 | 2.93 | 2.61 | 2.33 |
| 2.0 | 0.0 | 0.56 | 0.81 | 1.45 | 2.37 | 3.25 | 3.61 | 3.76 | 3.80 | 3.76 | 2.77 | 2.48 | 2.21 |
| 3.0 | 0.0 | 0.51 | 0.75 | 1.34 | 2.18 | 3.00 | 3.33 | 3.47 | 3.50 | 3.47 | 2.56 | 2.28 | 2.03 |
| 4.0 | 0.0 | 0.48 | 0.70 | 1.26 | 2.05 | 2.82 | 3.13 | 3.26 | 3.29 | 3.26 | 2.40 | 2.15 | 1.91 |
| 6.0 | 0.0 | 0.45 | 0.65 | 1.16 | 1.89 | 2.60 | 2.89 | 3.01 | 3.04 | 3.01 | 2.22 | 1.98 | 1.76 |
| 8.0 | 0.0 | 0.43 | 0.63 | 1.13 | 1.84 | 2.53 | 2.81 | 2.93 | 2.95 | 2.93 | 2.16 | 1.93 | 1.72 |

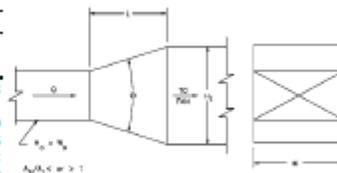
| Reynolds Number Correction Factor K_r | | | | | | | | | |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $Re/1000$ | 10 | 20 | 30 | 40 | 60 | 80 | 100 | 140 | 500 |
| K_r | 1.40 | 1.26 | 1.19 | 1.14 | 1.09 | 1.06 | 1.04 | 1.00 | 1.00 |



$C_p = K_r C_{p0}$
 where K_r = Reynolds number correction factor

ER4-1 Transition, Rectangular, Two Sides Parallel, Symmetrical, Exhaust/Return Systems

| C_p Values | | | | | | | | | | | | | |
|--------------|-----|-------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|------|
| A_2/A_1 | 0 | 3 | 5 | 10 | 15 | 20 | 30 | 45 | 60 | 90 | 120 | 150 | 180 |
| 0.063 | 0.0 | 0.44 | 0.27 | 0.25 | 0.27 | 0.36 | 0.56 | 0.71 | 0.86 | 0.99 | 0.99 | 0.98 | 0.98 |
| 0.10 | 0.0 | 0.41 | 0.27 | 0.23 | 0.25 | 0.34 | 0.53 | 0.69 | 0.83 | 0.94 | 0.94 | 0.92 | 0.91 |
| 0.167 | 0.0 | 0.34 | 0.28 | 0.21 | 0.23 | 0.30 | 0.48 | 0.65 | 0.76 | 0.83 | 0.83 | 0.82 | 0.80 |
| 0.25 | 0.0 | 0.26 | 0.29 | 0.17 | 0.19 | 0.25 | 0.42 | 0.60 | 0.68 | 0.70 | 0.70 | 0.68 | 0.66 |
| 0.50 | 0.0 | 0.16 | 0.24 | 0.14 | 0.13 | 0.15 | 0.24 | 0.35 | 0.37 | 0.38 | 0.37 | 0.36 | 0.35 |
| 1.00 | 0.0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 2.00 | 0.0 | 0.30 | 0.38 | 0.25 | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 0.23 | 0.29 | 0.49 | 0.66 | 0.81 | 0.88 |
| 4.00 | 0.0 | 1.66 | 1.25 | 0.77 | 0.70 | 0.70 | 0.90 | 1.09 | 2.84 | 4.36 | 5.69 | 6.57 | |
| 6.00 | 0.0 | 4.05 | 3.14 | 1.76 | 1.58 | 1.58 | 2.12 | 2.66 | 6.71 | 10.11 | 13.13 | 15.20 | |
| 10.00 | 0.0 | 12.01 | 9.39 | 5.33 | 5.00 | 5.00 | 6.45 | 7.93 | 19.10 | 28.60 | 36.79 | 42.79 | |

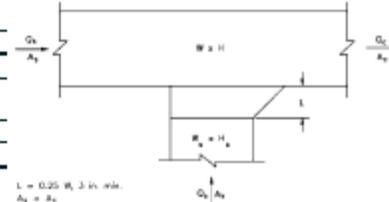


$A_2/A_1 < 1$

ERS-3 Tee, 45 Degree Entry Branch, Converging

| Q_2/Q_1 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 1.0 |
|-----------|--------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|
| C_p | -19.38 | -3.75 | -0.74 | 0.48 | 0.66 | 0.75 | 0.85 | 0.77 | 0.83 | 0.83 |

| Q_2/Q_1 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 1.0 |
|-----------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| C_p | 22.15 | 11.91 | 6.54 | 3.74 | 2.23 | 1.33 | 0.76 | 0.38 | 0.10 | 0.0 |

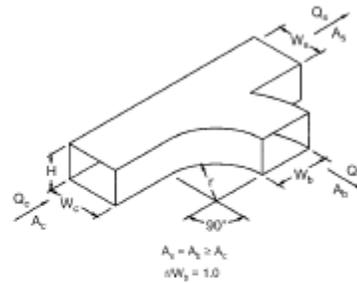


$L = 0.25 W_2, 2 \text{ in. min.}$
 $A_2 = A_1$
 $A_2/A_1 = 0.5$

SRS-1 Smooth Wye of Type $A_1 + A_2 \geq A_3$, Branch 90° to Main, Diverging

| | | C_p Values | | | | | | | | |
|-----------|-----------|--------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | Q_b/Q_c | | | | | | | | |
| A_1/A_2 | A_2/A_3 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 |
| 0.50 | 0.25 | 2.25 | 0.48 | 0.25 | 0.18 | 0.17 | 0.16 | 0.17 | 0.17 | 0.17 |
| 0.50 | 0.50 | 11.00 | 2.38 | 1.06 | 0.64 | 0.52 | 0.47 | 0.47 | 0.47 | 0.48 |
| 0.50 | 1.00 | 60.00 | 13.00 | 4.78 | 2.06 | 0.96 | 0.47 | 0.31 | 0.27 | 0.26 |
| 0.75 | 0.25 | 2.19 | 0.55 | 0.35 | 0.31 | 0.33 | 0.35 | 0.36 | 0.37 | 0.39 |
| 0.75 | 0.50 | 13.00 | 2.50 | 0.89 | 0.47 | 0.34 | 0.31 | 0.32 | 0.36 | 0.43 |
| 0.75 | 1.00 | 70.00 | 15.00 | 5.67 | 2.63 | 1.36 | 0.78 | 0.53 | 0.41 | 0.36 |
| 1.00 | 0.25 | 3.44 | 0.78 | 0.42 | 0.33 | 0.30 | 0.31 | 0.40 | 0.42 | 0.46 |
| 1.00 | 0.50 | 15.50 | 3.00 | 1.11 | 0.63 | 0.48 | 0.42 | 0.40 | 0.42 | 0.46 |
| 1.00 | 1.00 | 67.00 | 13.75 | 5.11 | 2.31 | 1.28 | 0.81 | 0.59 | 0.47 | 0.46 |

| | | C_v Values | | | | | | | | |
|-----------|-----------|--------------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | Q_b/Q_c | | | | | | | | |
| A_1/A_2 | A_2/A_3 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 |
| 0.50 | 0.25 | 8.65 | 1.12 | 0.21 | 0.05 | 0.06 | 0.10 | 0.15 | 0.19 | 0.24 |
| 0.50 | 0.50 | 7.50 | 0.98 | 0.19 | 0.06 | 0.06 | 0.10 | 0.14 | 0.18 | 0.22 |
| 0.50 | 1.00 | 5.21 | 0.68 | 0.15 | 0.06 | 0.07 | 0.10 | 0.13 | 0.16 | 0.19 |
| 0.75 | 0.25 | 19.62 | 3.25 | 0.86 | 0.23 | 0.05 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.05 |
| 0.75 | 0.50 | 20.62 | 3.24 | 0.76 | 0.14 | -0.03 | -0.07 | -0.05 | -0.01 | 0.03 |
| 0.75 | 1.00 | 17.01 | 2.55 | 0.55 | 0.07 | -0.05 | -0.05 | -0.02 | 0.02 | 0.06 |
| 1.00 | 0.25 | 46.00 | 9.50 | 3.22 | 1.31 | 0.52 | 0.14 | -0.02 | -0.05 | -0.01 |
| 1.00 | 0.50 | 35.34 | 6.49 | 1.98 | 0.69 | 0.22 | 0.00 | -0.04 | -0.05 | -0.05 |
| 1.00 | 1.00 | 38.95 | 7.10 | 2.15 | 0.74 | 0.23 | 0.03 | -0.04 | -0.05 | -0.04 |



Fuente: (ASHRAE, HANDBOOK FUNDAMENTALS Inch-Pound Edition., 2009)

Anexo 24. Reporte meteorológico del IMN para Ochomogo, Cartago

INSTITUTO METEOROLOGICO NACIONAL
 DEPARTAMENTO DE INFORMACION
 PROMEDIOS MENSUALES DE DATOS CLIMATICOS
 (estaciones automáticas)

| ESTACION : 73 129 RECOPE, OCHOMOGO | | Latitud: 09 ° 53 ' N Longitud: 83 ° 56 ' O | | Altitud: 1546 m.s.n.m | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|-----------|--|------|-----------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|--------|
| Elementos | Periodos | Ene. | Feb. | Mar. | Abr. | May. | Jun. | Jul. | Ago. | Set. | Oct. | Nov. | Dic. | Prom. | Total |
| LLUVIA | 1999 2015 | 19.0 | 9.5 | 12.0 | 33.3 | 182.2 | 177.6 | 124.1 | 140.2 | 232.8 | 294.0 | 122.9 | 45.7 | 116.1 | 1393.2 |
| TEM.MAX. | 1999 2015 | 20.7 | 21.6 | 22.5 | 23.4 | 23.3 | 23.0 | 22.4 | 23.0 | 23.2 | 22.4 | 21.0 | 20.9 | 22.3 | |
| TEM.MIN. | 1999 2015 | 12.4 | 12.0 | 12.4 | 13.5 | 14.4 | 14.5 | 14.3 | 14.3 | 14.2 | 14.2 | 13.5 | 13.0 | 13.6 | |
| TEM.MED. | 1999 2015 | 16.5 | 16.8 | 17.5 | 18.4 | 18.9 | 18.8 | 18.4 | 18.6 | 18.7 | 18.3 | 17.3 | 17.0 | 17.9 | |
| HUMEDAD | 1999 2015 | 85.3 | 83.1 | 82.9 | 83.9 | 87.8 | 88.9 | 88.8 | 88.6 | 88.9 | 90.3 | 90.5 | 87.4 | 87.2 | |
| VIENTO VEL. | 1999 2015 | 19.0 | 19.2 | 17.5 | 14.2 | 11.2 | 10.8 | 12.5 | 11.2 | 9.5 | 9.0 | 12.0 | 15.7 | 13.5 | |
| RADIACION | 1999 2015 | 17.2 | 19.6 | 20.6 | 17.8 | 12.6 | 12.7 | 13.6 | 13.7 | 14.1 | 12.9 | 11.8 | 14.4 | 15.1 | |
| VIENTO DIR. PREDOMINANTE | | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | | |
| Promedio días con lluvia >= 0.1 mm. | | 11 | 7 | 7 | 9 | 19 | 22 | 20 | 20 | 22 | 24 | 20 | 15 | 196 | Total |

Fuente: INM 2018

Anexo 25. Fichas técnicas para los equipos seleccionados de ventilación



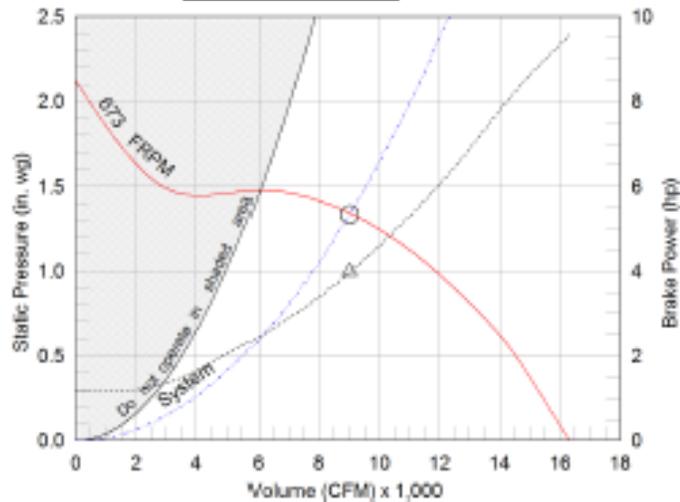
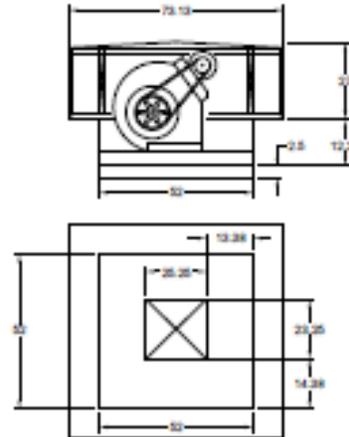
Printed Date: 03/05/2018
 Job: PP_RCG Recope
 Mark: IY-01 Lab CC
 Model: RSF-200-50

Model: RSF-200-50
 Filtered Roof Supply Fan

| Dimensional | |
|------------------------|---------|
| Quantity | 1 |
| Weight w/o Acc's (lb) | 739 |
| Weight w/ Acc's (lb) | 765 |
| Max T Motor Frame Size | 215 |
| Roof Opening (in.) | 33 x 33 |

| Performance | |
|-----------------------------------|-------|
| Requested Volume (CFM) | 9,000 |
| Actual Volume (CFM) | 9,000 |
| Total External SP (in. wg) | 1.334 |
| Fan RPM | 673 |
| Operating Power (hp) | 3.98 |
| Elevation (ft) | 3,064 |
| Airstream Temp (F) | 70 |
| Air Density (lb/ft ³) | 0.067 |
| Drive Loss (%) | 4.1 |
| Tip Speed (ft/min) | 3,526 |
| Static Eff. (%) | 49 |

| Motor | |
|---------------------|----------|
| Motor Mounted | Yes |
| Size (hp) | 5 |
| Voltage/Cycle/Phase | 460/60/3 |
| Enclosure | ODP |
| Motor RPM | 1725 |
| Windings | 1 |
| NEC FLA* (Amps) | 7.8 |



- △ Operating Bhp point
- Operating point at Total External SP
- Fan curve
- System curve
- Brake horsepower curve

Sound Power by Octave Band

| Sound Data | 62.5 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 | LwA | dBA | Series |
|------------|------|-----|-----|-----|------|------|------|------|-----|-----|--------|
| Instel | 80 | 76 | 77 | 79 | 79 | 78 | 74 | 68 | 84 | 72 | 21 |

Notes:

All dimensions shown are in units of in.
 *NRC FLA - based on tables 430.248 or 430.250 of National Electrical Code 2014. Actual motor FLA may vary, for sizing thermal overload, consult factory.
 LwA - A weighted sound power level, based on ANSI S1.4
 dBA - A weighted sound pressure level, based on 11.5 dB attenuation per octave band at 5 ft - dBA levels are not licensed by AMCA International.
 Series - calculated using AMCA 301 at 5 ft



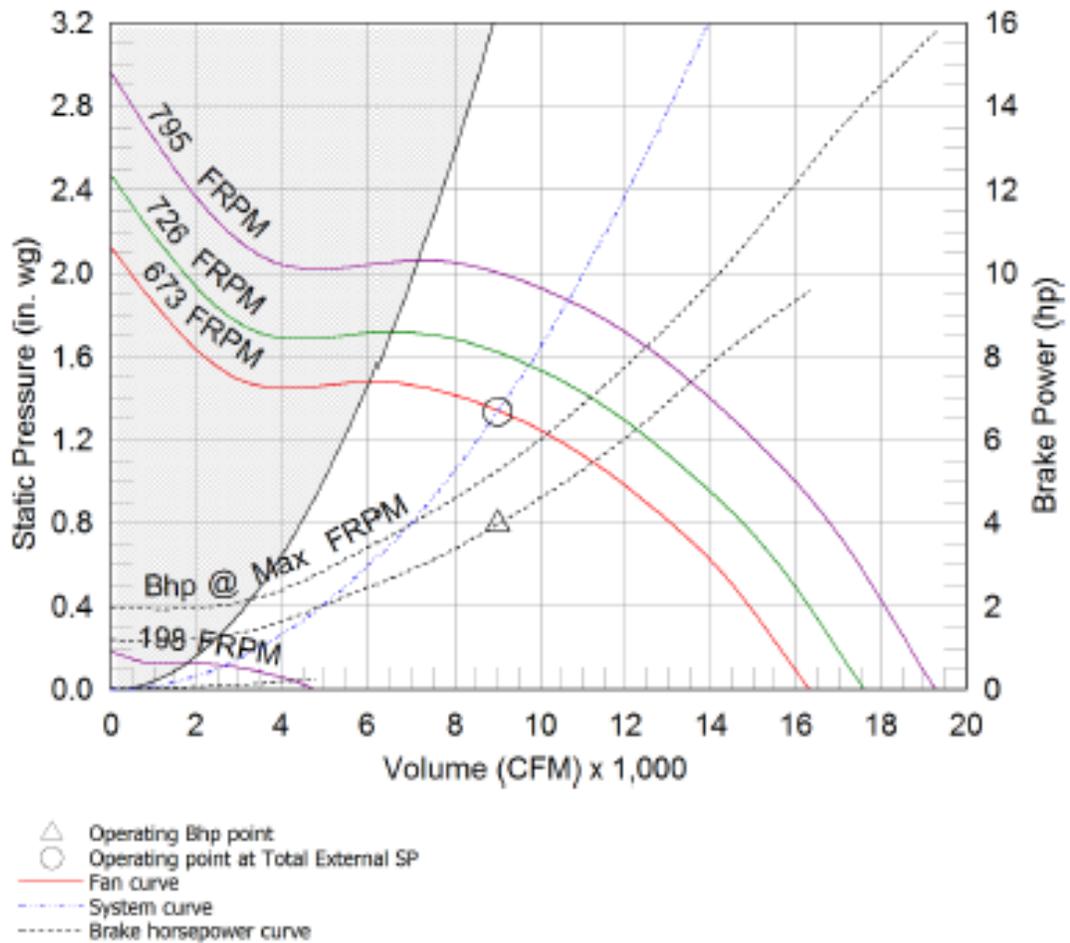
Fuente: Programa "Caps" de Greenheck

RSF-200-50

Min/Max Fan Curve

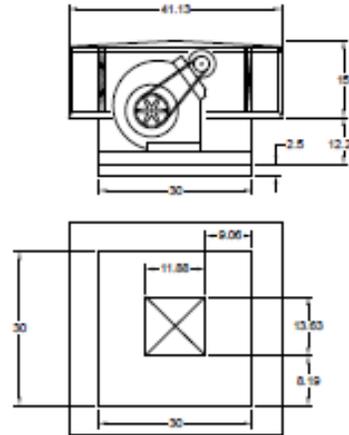
Performance

| Requested Volume (CFM) | Actual Volume (CFM) | Total External SP (in. wg) | Fan RPM | Operating Power (hp) |
|------------------------|---------------------|----------------------------|---------|----------------------|
| 9,000 | 9,000 | 1.334 | 673 | 3.98 |



Fuente: Programa "Caps" de GreenHeck

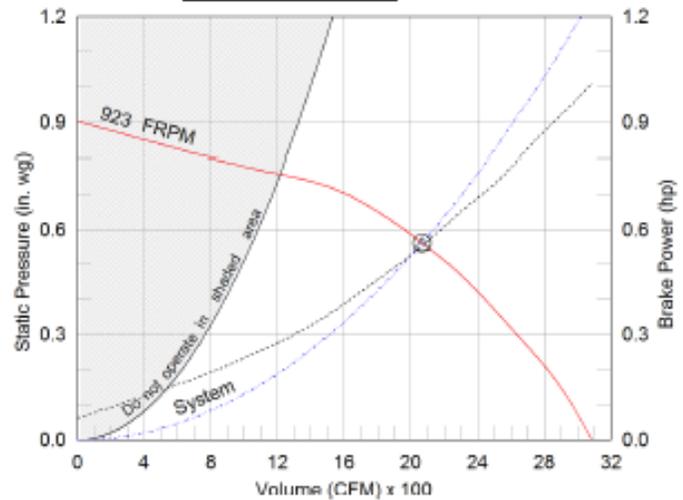
Model: RSF-100-7
Filtered Roof Supply Fan



| Dimensional | |
|------------------------|---------|
| Quantity | 1 |
| Weight w/o Acc's (lb) | 208 |
| Weight w/ Acc's (lb) | 218 |
| Max T Motor Frame Size | 145 |
| Roof Opening (in.) | 17 x 17 |

| Performance | |
|----------------------------|-------|
| Requested Volume (CFM) | 2,065 |
| Actual Volume (CFM) | 2,065 |
| Total External SP (in. wg) | 0.561 |
| Fan RPM | 923 |
| Operating Power (hp) | 0.55 |
| Elevation (ft) | 3,064 |
| Airstream Temp.(F) | 70 |
| Air Density (lb/ft3) | 0.067 |
| Drive Loss (%) | 8.0 |
| Tip Speed (ft/min) | 2,416 |
| Static Eff. (%) | 36 |

| Motor | |
|---------------------|----------|
| Motor Mounted | Yes |
| Size (hp) | 3/4 |
| Voltage/Cycle/Phase | 460/60/3 |
| Enclosure | ODP |
| Motor RPM | 1725 |
| Windings | 1 |
| NEC FLA* (Amps) | 1.6 |



- △ Operating Bhp point
- Operating point at Total External SP
- Fan curve
- - - System curve
- Brake horsepower curve

Sound Power by Octave Band

| Sound Data | 62.5 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 | LwA | dBA | Sones |
|------------|------|-----|-----|-----|------|------|------|------|-----|-----|-------|
| Inlet | 79 | 70 | 67 | 70 | 70 | 68 | 66 | 61 | 75 | 63 | 12.4 |

Notes:

All dimensions shown are in units of in.
*NEC FLA - based on tables 430.246 or 430.250 of National Electrical Code 2014. Actual motor FLA may vary, for sizing thermal overload, consult factory.
LwA - A weighted sound power level, based on ANSI S1.4
dBA - A weighted sound pressure level, based on 11.5 dB attenuation per Octave band at 5 ft. - dBA levels are not licensed by AMCA International
Sones - calculated using AMCA 301 at 5 ft

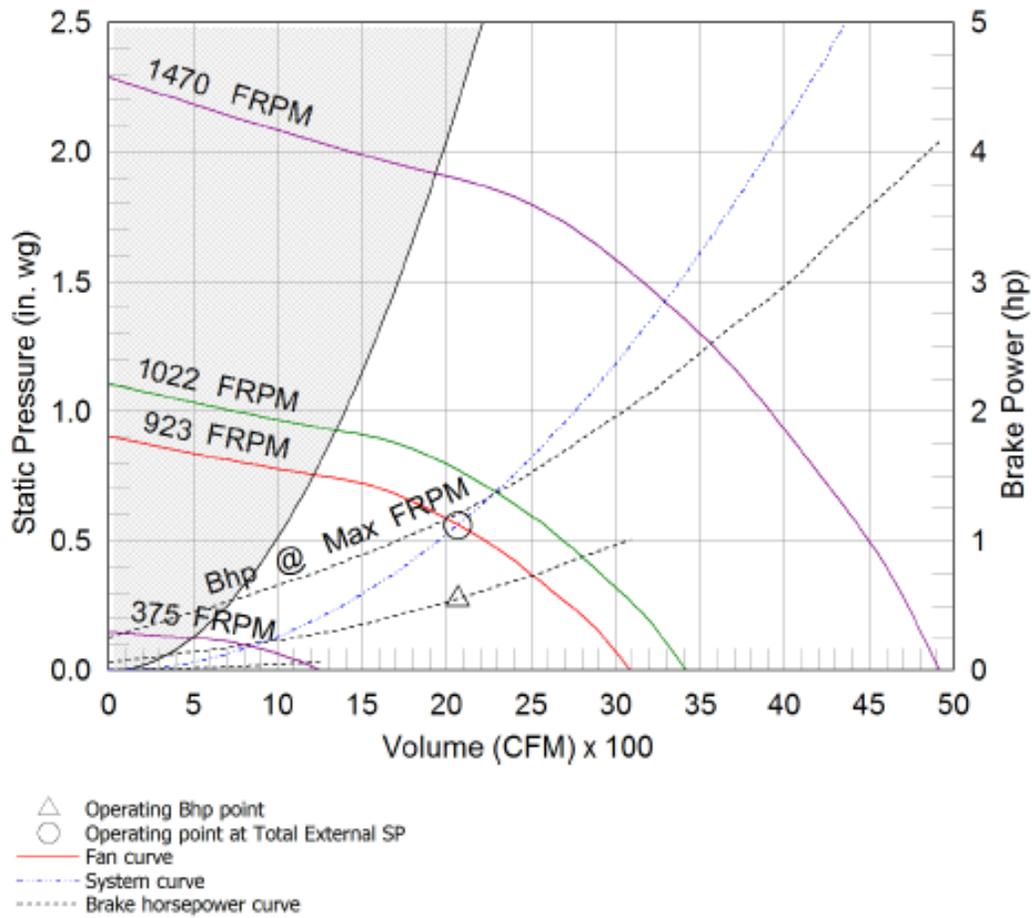


RSF-100-7

Min/Max Fan Curve

Performance

| Requested Volume (CFM) | Actual Volume (CFM) | Total External SP (in. wg) | Fan RPM | Operating Power (hp) |
|------------------------|---------------------|----------------------------|---------|----------------------|
| 2,065 | 2,065 | 0.561 | 923 | 0.55 |



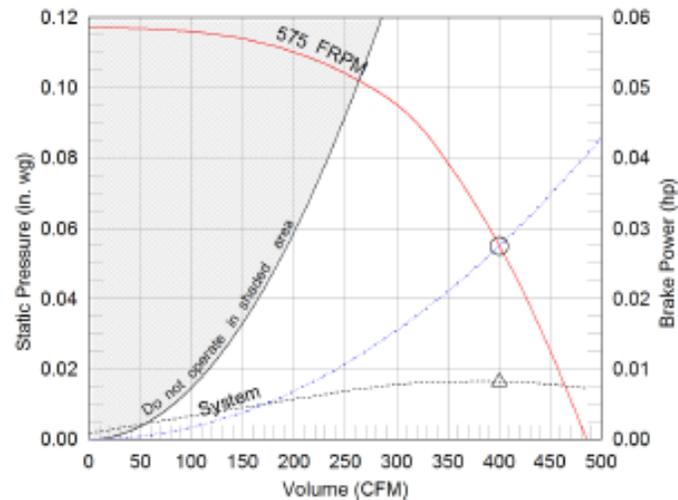
Fuente: Programa "Caps" de GreenHeck

Model: SQ-100-VG
Direct Drive Centrifugal Inline Fan

| Dimensional | |
|-----------------------|----|
| Quantity | 1 |
| Weight w/o Acc's (lb) | 45 |
| Weight w/ Acc's (lb) | 54 |

| Performance | |
|-----------------------------------|-------|
| Requested Volume (CFM) | 400 |
| Actual Volume (CFM) | 400 |
| Total External SP (in. wg) | 0.055 |
| Fan RPM | 575 |
| Operating Power (hp) | 0.01 |
| Elevation (ft) | 3,064 |
| Airstream Temp.(F) | 70 |
| Air Density (lb/ft ³) | 0.067 |
| Tip Speed (ft/min) | 1,685 |
| Static Eff. (%) | 42 |

| Motor | |
|---------------------|----------|
| Motor Mounted | Yes |
| Size (hp) | 1/4 |
| Voltage/Cycle/Phase | 208/60/1 |
| Enclosure | ODP |
| Motor RPM | 1725 |
| Windings | 1 |



- △ Operating Bhp point
- Operating point at Total External SP
- Fan curve
- System curve
- Brake horsepower curve

Sound Power by Octave Band

| Sound Data | 62.5 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 | LwA | dBA | Sones |
|------------|------|-----|-----|-----|------|------|------|------|-----|-----|-------|
| Inlet | 52 | 51 | 45 | 39 | 35 | 30 | 27 | 24 | 43 | 31 | 0.9 |
| Radiated | 56 | 62 | 49 | 38 | 29 | 27 | 25 | 22 | 48 | 37 | 1.7 |

Notes:

All dimensions shown are in units of in.
*NEC FLA - based on tables 430.248 or 430.250 of National Electrical Code 2014. Actual motor FLA may vary, for sizing thermal overload, consult factory.
LwA - A weighted sound power level, based on ANSI S1.4
dBA - A weighted sound pressure level, based on 11.5 dB attenuation per Octave band at 5 ft - dBA levels are not licensed by AMCA International
Sones - calculated using AMCA 301 at 5 ft



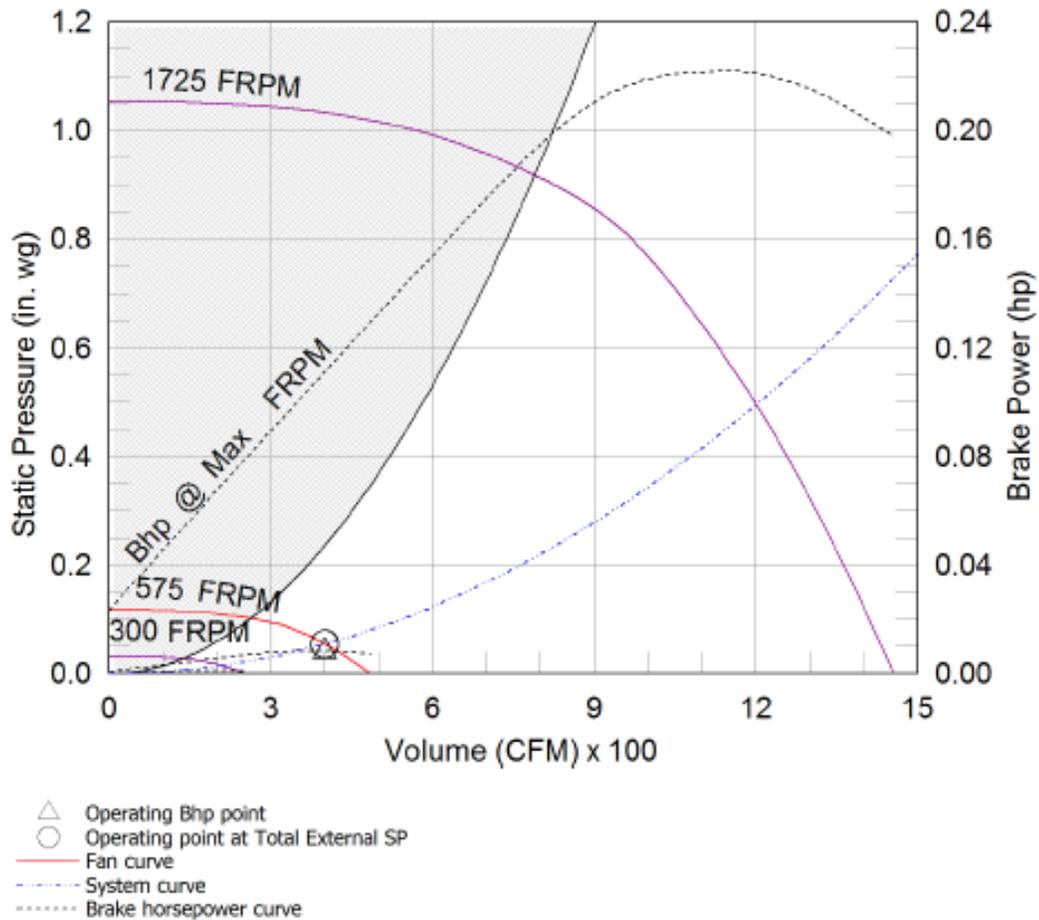
Fuente: Programa "Caps" de GreenHeck

SQ-100-VG

Min/Max Fan Curve

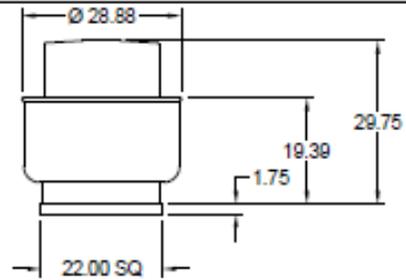
Performance

| Requested Volume (CFM) | Actual Volume (CFM) | Total External SP (in. wg) | Fan RPM | Operating Power (hp) |
|------------------------|---------------------|----------------------------|---------|----------------------|
| 400 | 400 | 0.055 | 575 | 0.01 |



Fuente: Programa "Caps" de GreenHeck

Model: CUBE-161-3
Belt Drive Upblast Centrifugal Roof Exhaust Fan

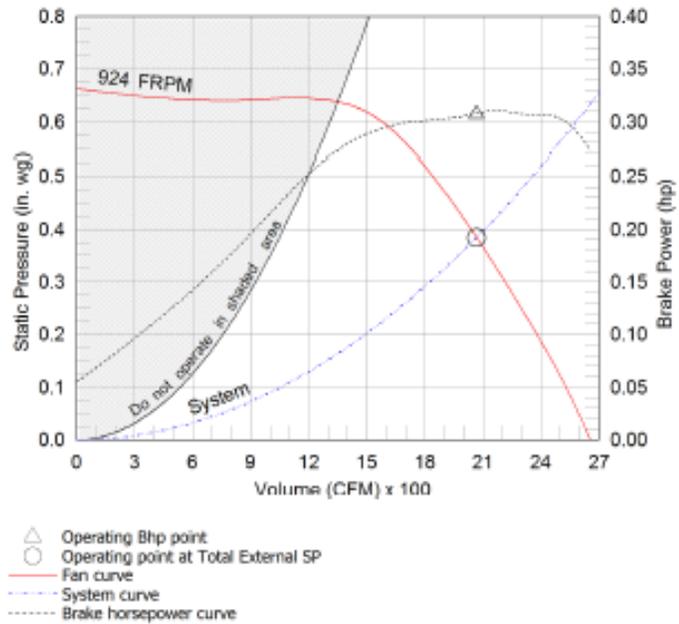


OVERALL HEIGHT MAY BE GREATER DEPENDING ON MOTOR.

| Dimensional | |
|------------------------|-------------|
| Quantity | 1 |
| Weight w/o Acc's (lb) | 69 |
| Weight w/ Acc's (lb) | 73 |
| Max T Motor Frame Size | 145 |
| Roof Opening (in.) | 18.5 x 18.5 |

| Performance | |
|----------------------------|-------|
| Requested Volume (CFM) | 2,065 |
| Actual Volume (CFM) | 2,065 |
| Total External SP (in. wg) | 0.384 |
| Fan RPM | 924 |
| Operating Power (hp) | 0.31 |
| Elevation (ft) | 3,064 |
| Airstream Temp.(F) | 70 |
| Air Density (lb/ft3) | 0.067 |
| Drive Loss (%) | 10.9 |
| Tip Speed (ft/min) | 4,020 |
| Static Eff. (%) | 46 |

| Motor | |
|---------------------|----------|
| Motor Mounted | Yes |
| Size (hp) | 1/3 |
| Voltage/Cycle/Phase | 460/60/3 |
| Enclosure | ODP |
| Motor RPM | 1725 |
| Windings | 1 |
| NEC FLA* (Amps) | 1.1 |



Sound Power by Octave Band

| Sound Data | 62.5 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 | LWA | dBA | Sones |
|------------|------|-----|-----|-----|------|------|------|------|-----|-----|-------|
| Inlet | 71 | 78 | 73 | 69 | 67 | 64 | 58 | 53 | 72 | 61 | 10.4 |

Notes:

All dimensions shown are in units of in.
*NEC FLA - based on tables 430.248 or 430.250 of National Electrical Code 2014. Actual motor FLA may vary, for sizing thermal overload, consult factory.
LWA - A weighted sound power level, based on ANSI S1.4
dBA - A weighted sound pressure level, based on 11.5 dB attenuation per Octave band at 5 ft - dBA levels are not licensed by AMCA International
Sones - calculated using AMCA 301 at 5 ft



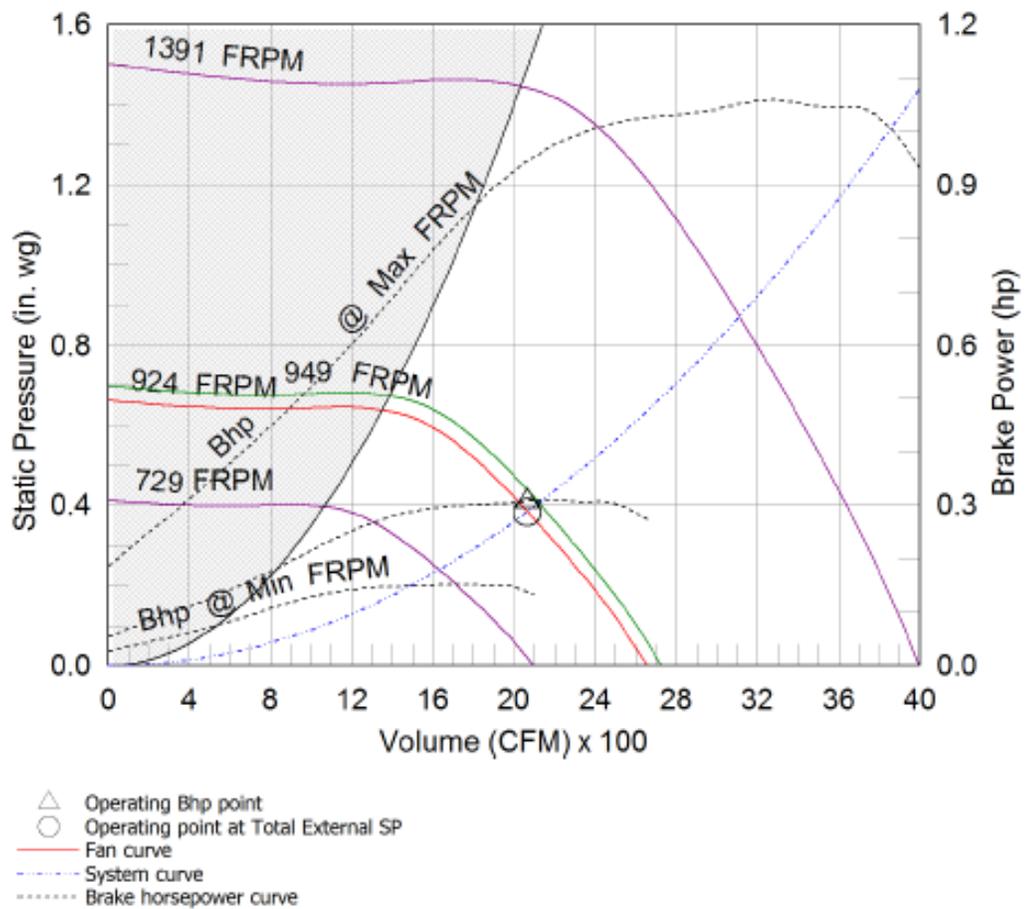
Fuente: Programa "Caps" de GreenHeck

CUBE-161-3

Min/Max Fan Curve

Performance

| Requested Volume (CFM) | Actual Volume (CFM) | Total External SP (in. wg) | Fan RPM | Operating Power (hp) |
|------------------------|---------------------|----------------------------|---------|----------------------|
| 2,065 | 2,065 | 0.384 | 924 | 0.31 |



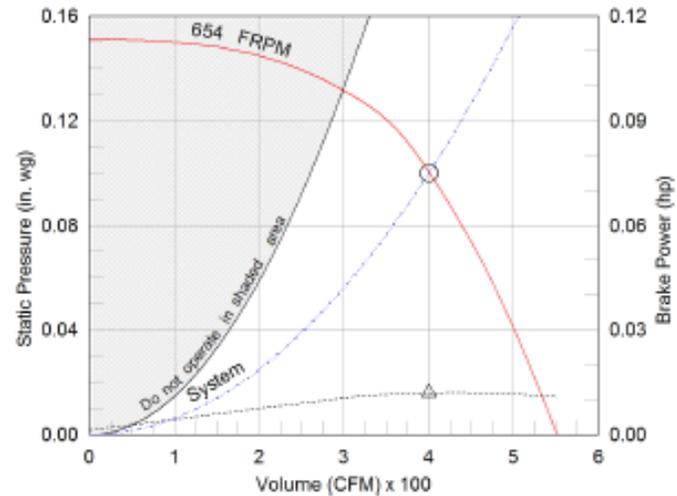
Fuente: Programa "Caps" de GreenHeck

Model: SQ-100-VG
Direct Drive Centrifugal Inline Fan

| Dimensional | |
|-----------------------|----|
| Quantity | 1 |
| Weight w/o Acc's (lb) | 45 |
| Weight w/ Acc's (lb) | 54 |

| Performance | |
|-----------------------------------|-------|
| Requested Volume (CFM) | 400 |
| Actual Volume (CFM) | 400 |
| Total External SP (in. wg) | 0.1 |
| Fan RPM | 654 |
| Operating Power (hp) | 0.01 |
| Elevation (ft) | 3,064 |
| Airstream Temp.(F) | 70 |
| Air Density (lb/ft ³) | 0.067 |
| Tip Speed (ft/min) | 1,915 |
| Static Eff. (%) | 53 |

| Motor | |
|---------------------|----------|
| Motor Mounted | Yes |
| Size (hp) | 1/4 |
| Voltage/Cycle/Phase | 208/60/1 |
| Enclosure | ODP |
| Motor RPM | 1725 |
| Windings | 1 |



- △ Operating Bhp point
- Operating point at Total External SP
- Fan curve
- System curve
- Brake horsepower curve

Sound Power by Octave Band

| Sound Data | 62.5 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 | LwA | dBA | Sones |
|------------|------|-----|-----|-----|------|------|------|------|-----|-----|-------|
| Inlet | 54 | 54 | 49 | 43 | 38 | 33 | 30 | 28 | 46 | 34 | 1.4 |
| Radiated | 59 | 64 | 51 | 40 | 33 | 29 | 27 | 26 | 50 | 38 | 2.2 |

Notes:

All dimensions shown are in units of in.
*NEC FLA - based on tables 430.246 or 430.250 of National Electrical Code 2014. Actual motor FLA may vary, for sizing thermal overload, consult factory.
LwA - A weighted sound power level, based on ANSI S1.4
dBA - A weighted sound pressure level, based on 11.5 dB attenuation per Octave band at 5 ft - dBA levels are not licensed by AMCA International
Sones - calculated using AMCA 301 at 5 ft



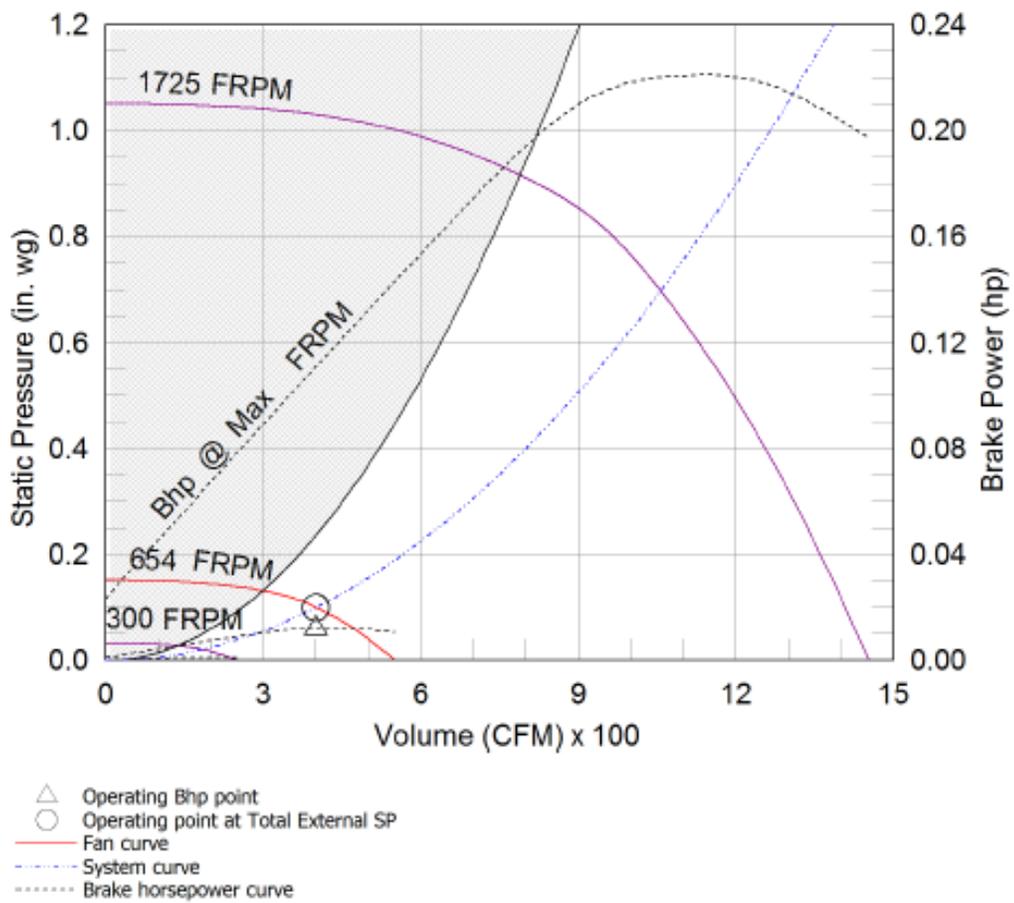
Fuente: Programa "Caps" de GreenHeck

SQ-100-VG

Min/Max Fan Curve

Performance

| Requested Volume (CFM) | Actual Volume (CFM) | Total External SP (in. wg) | Fan RPM | Operating Power (hp) |
|------------------------|---------------------|----------------------------|---------|----------------------|
| 400 | 400 | 0.1 | 654 | 0.01 |



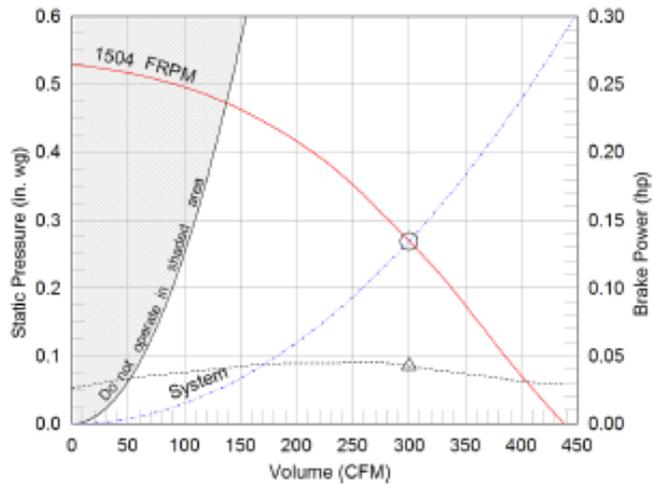
Fuente: Programa "Caps" de GreenHeck

Model: SQ-80-VG
Direct Drive Centrifugal Inline Fan

| Dimensional | |
|-----------------------|----|
| Quantity | 4 |
| Weight w/o Acc's (lb) | 48 |
| Weight w/ Acc's (lb) | 50 |

| Performance | |
|----------------------------|-------|
| Requested Volume (CFM) | 300 |
| Actual Volume (CFM) | 300 |
| Total External SP (in. wg) | 0.269 |
| Fan RPM | 1504 |
| Operating Power (hp) | 0.04 |
| Elevation (ft) | 3,064 |
| Airstream Temp.(F) | 70 |
| Air Density (lb/ft3) | 0.067 |
| Tip Speed (ft/min) | 4,282 |
| Static Eff. (%) | 30 |

| Motor | |
|---------------------|----------|
| Motor Mounted | Yes |
| Size (hp) | 1/10 |
| Voltage/Cycle/Phase | 208/60/1 |
| Enclosure | ODP |
| Motor RPM | 1725 |
| Windings | 1 |



- △ Operating Bhp point
- Operating point at Total External SP
- Fan curve
- System curve
- Brake horsepower curve

Sound Power by Octave Band

| Sound Data | 62.5 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 | LWA | dBA | Sones |
|------------|------|-----|-----|-----|------|------|------|------|-----|-----|-------|
| Inlet | 66 | 72 | 68 | 60 | 59 | 56 | 52 | 45 | 65 | 54 | 6.9 |
| Radiated | 67 | 74 | 62 | 54 | 54 | 50 | 46 | 41 | 62 | 50 | 6.1 |

Notes:

All dimensions shown are in units of in.
*NEC FLA - based on tables 430.248 or 430.250 of National Electrical Code 2014. Actual motor FLA may vary, for sizing thermal overload, consult factory.
LWA - A weighted sound power level, based on ANSI S1.4
dBA - A weighted sound pressure level, based on 11.5 dB attenuation per Octave band at 5 ft - dBA levels are not licensed by AMCA International
Sones - calculated using AMCA 301 at 5 ft



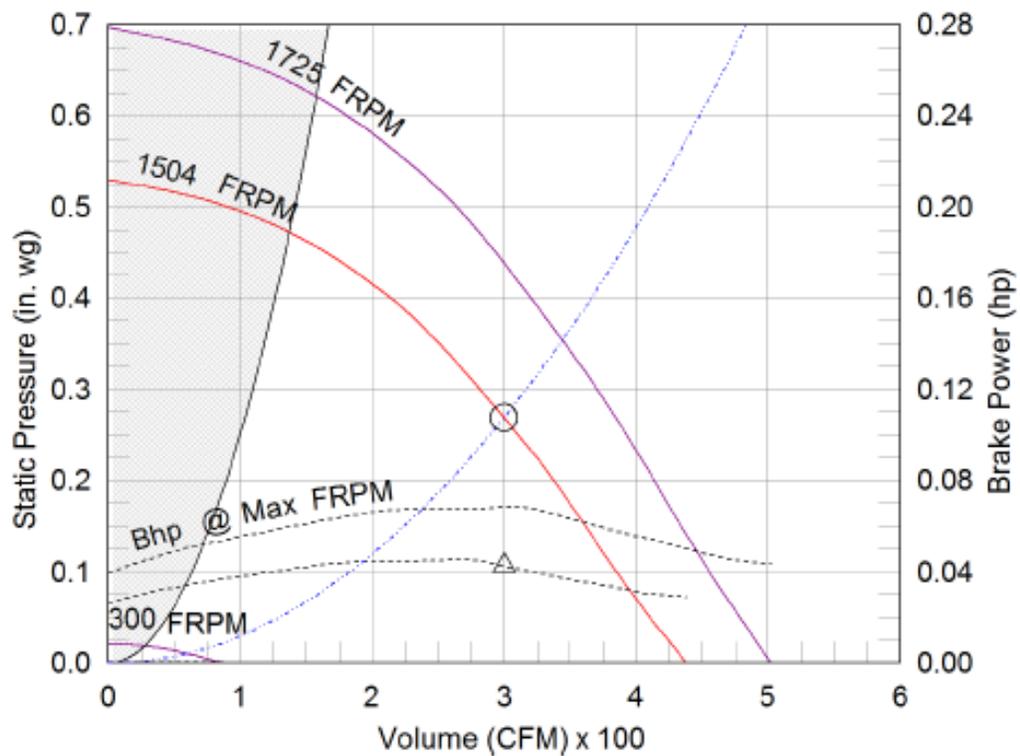
Fuente: Programa "Caps" de GreenHeck

SQ-80-VG

Min/Max Fan Curve

Performance

| Requested Volume (CFM) | Actual Volume (CFM) | Total External SP (in. wg) | Fan RPM | Operating Power (hp) |
|------------------------|---------------------|----------------------------|---------|----------------------|
| 300 | 300 | 0.269 | 1504 | 0.04 |



- △ Operating Bhp point
- Operating point at Total External SP
- Fan curve
- - - System curve
- Brake horsepower curve

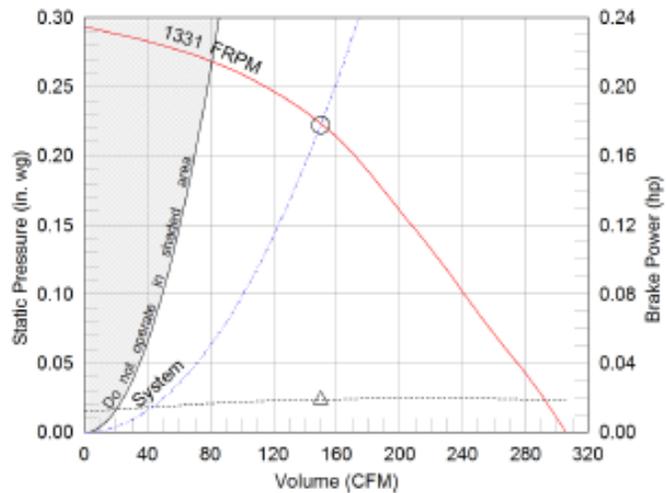
Fuente: Programa "Caps" de GreenHeck

Model: SQ-75-VG
Direct Drive Centrifugal Inline Fan

| Dimensional | |
|-----------------------|----|
| Quantity | 1 |
| Weight w/o Acc's (lb) | 33 |
| Weight w/ Acc's (lb) | 35 |

| Performance | |
|----------------------------|-------|
| Requested Volume (CFM) | 150 |
| Actual Volume (CFM) | 150 |
| Total External SP (in. wg) | 0.222 |
| Fan RPM | 1331 |
| Operating Power (hp) | 0.02 |
| Elevation (ft) | 3,064 |
| Airstream Temp.(F) | 70 |
| Air Density (lb/ft3) | 0.067 |
| Tip Speed (ft/min) | 2,831 |
| Static Eff. (%) | 28 |

| Motor | |
|---------------------|----------|
| Motor Mounted | Yes |
| Size (hp) | 1/10 |
| Voltage/Cycle/Phase | 208/60/1 |
| Enclosure | ODP |
| Motor RPM | 1725 |
| Windings | 1 |



- △ Operating Bhp point
- Operating point at Total External SP
- Fan curve
- - - System curve
- Brake horsepower curve

Sound Power by Octave Band

| Sound Data | 62.5 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 | LwA | dBA | Sones |
|------------|------|-----|-----|-----|------|------|------|------|-----|-----|-------|
| Inlet | 70 | 68 | 57 | 48 | 45 | 41 | 28 | 26 | 55 | 44 | 3.6 |
| Radiated | 71 | 70 | 51 | 43 | 41 | 35 | 23 | 23 | 56 | 44 | 3.4 |

Notes:

All dimensions shown are in units of in.
*NEC FLA - based on tables 430.246 or 430.250 of National Electrical Code 2014. Actual motor FLA may vary, for sizing thermal overload, consult factory.
LwA - A weighted sound power level, based on ANSI S1.4 dBA - A weighted sound pressure level, based on 11.5 dB attenuation per Octave band at 5 ft - dBA levels are not licensed by AMCA International
Sones - calculated using AMCA 301 at 5 ft



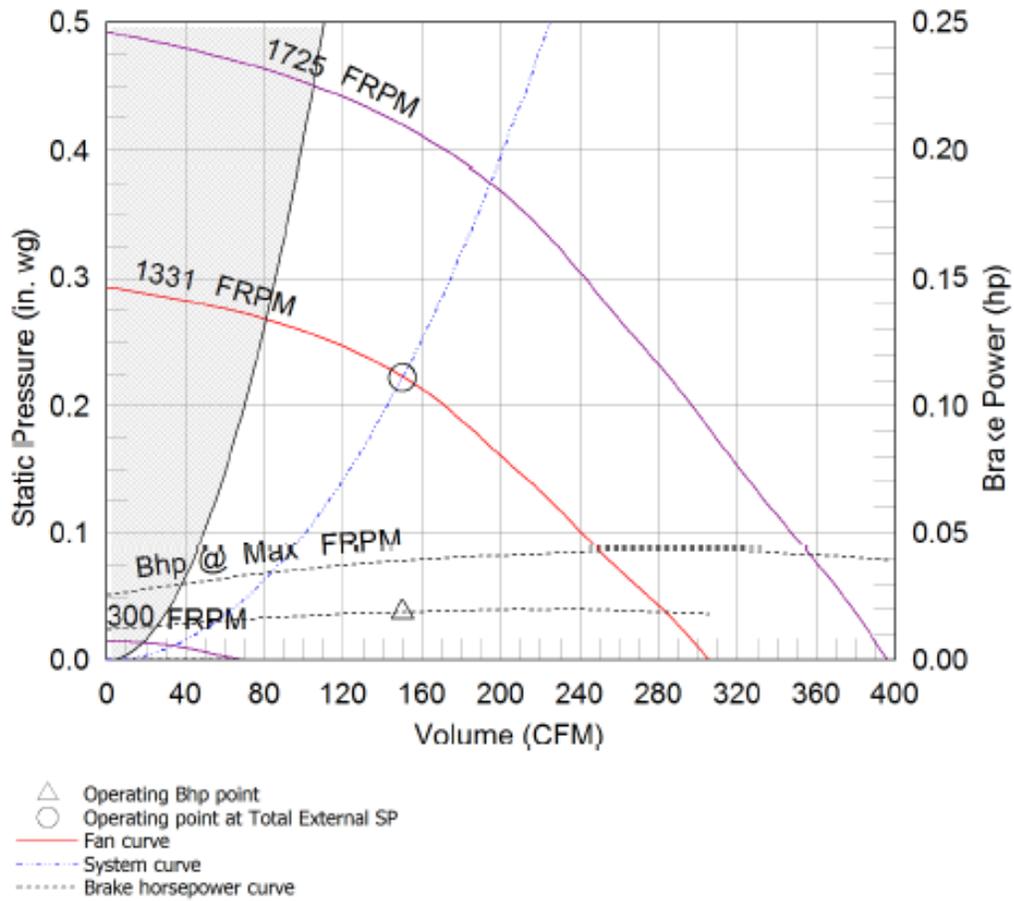
Fuente: Programa "Caps" de GreenHeck

SQ-75-VG

Min/Max Fan Curve

Performance

| Requested Volume (CFM) | Actual Volume (CFM) | Total External SP (in. wg) | Fan RPM | Operating Power (hp) |
|------------------------|---------------------|----------------------------|---------|----------------------|
| 150 | 150 | 0.222 | 1331 | 0.02 |



Fuente: Programa "Caps" de GreenHeck

Anexo 26. Ficha técnica para sistema de aire acondicionado para confort térmico VRV

Unidades interiores

Unidad Cassette Montado en el techo (flujo circular con sensor)



| MODELO | | FXFSQ25AVE | FXFSQ32AVE | FXFSQ40AVE | FXFSQ50AVE | FXFSQ63AVE | FXFSQ71AVE |
|---------------------------------|---------------------------------|--|------------|---------------|------------|---------------|------------|
| Fuente de energía | | 1 fase, 60 Hz, 220 V | | | | | |
| Capacidad de enfriamiento | kcal/h | 2,400 | 3,100 | 3,900 | 4,800 | 6,100 | 6,900 |
| | Btu/h | 9,600 | 12,300 | 15,400 | 19,100 | 24,200 | 27,300 |
| | kW | 2.8 | 3.6 | 4.5 | 5.6 | 7.1 | 8.0 |
| Capacidad de calefacción | kcal/h | 2,800 | 3,400 | 4,300 | 5,400 | 6,900 | 7,700 |
| | Btu/h | 10,900 | 13,600 | 17,100 | 21,500 | 27,300 | 30,700 |
| | kW | 3.2 | 4.0 | 5.0 | 6.3 | 8.0 | 9.0 |
| Consumo de energía | Enfriamiento | 0.049 | | 0.059 | 0.214 | | |
| | Calefacción | 0.045 | | 0.055 | 0.210 | | |
| Gabinete | | Placa de acero galvanizado | | | | | |
| Flujo de aire (A/M/B) | m ³ /min | 12.5/10.8/9.0 | | 13.5/11.4/9.0 | | 30/25/20 | |
| | cfm | 441/381/318 | | 476/402/318 | | 1,059/883/706 | |
| Nivel de sonido (A/M/B) | | 30/28/25 | | 32/29/25 | | 44/39/34 | |
| Dimensiones (Al. x An. x Prof.) | | 204x840x840 | | | | 288x840x840 | |
| Peso de la máquina | | 20 | | | | 26 | |
| Conexiones de tuberías | Líquido | ø6.4 | | | | ø9.5 | |
| | Gas | ø12.7 | | | | ø15.9 | |
| | Drenaje | Drenaje VP25 (Diám. ext., 32/Diám. int., 25) | | | | | |
| Panel (opcional) | Modelo | BYCSP125BW1 | | | | | |
| | Color | Fresh blanco | | | | | |
| | Dimensiones (Al. x An. x Prof.) | 50x950x950 | | | | | |
| | Peso | 5.5 | | | | | |

| MODELO | | FXFSQ80AVE | FXFSQ90AVE | FXFSQ100AVE | FXFSQ112AVE | FXFSQ125AVE |
|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|------------|-------------|-------------|-------------|
| Fuente de energía | | 1 fase, 60 Hz, 220 V | | | | |
| Capacidad de enfriamiento | kcal/h | 7,700 | 8,600 | 9,600 | 10,800 | 12,000 |
| | Btu/h | 30,700 | 34,100 | 38,200 | 42,700 | 47,800 |
| | kW | 9.0 | 10.0 | 11.2 | 12.5 | 14.0 |
| Capacidad de calentamiento | kcal/h | 9,000 | 9,600 | 10,800 | 12,000 | 13,800 |
| | Btu/h | 34,100 | 38,200 | 42,700 | 47,800 | 54,600 |
| | kW | 10.0 | 11.2 | 12.5 | 14.0 | 16.0 |
| Consumo de energía | Enfriamiento | 0.214 | | | | |
| | Calefacción | 0.210 | | | | |
| Gabinete | | Placa de acero galvanizado | | | | |
| Flujo de aire (A/M/B) | m ³ /min | 30/25/20 | | | | |
| | cfm | 1,059/883/706 | | | | |
| Nivel de sonido (A/M/B) | | 44/39/34 | | | | |
| Dimensiones (Al. x An. x Prof.) | | 288x840x840 | | | | |
| Peso de la máquina | | 26 | | | | |
| Conexiones de tuberías | Líquido | ø9.5 | | | | |
| | Gas | ø15.9 | | | | |
| | Drenaje | VP25 (Diám. ext., 32/Diám. int., 25) | | | | |
| Panel (opcional) | Modelo | BYCSP125BW1 | | | | |
| | Color | Fresh blanco | | | | |
| | Dimensiones (Al. x An. x Prof.) | 50x950x950 | | | | |
| | Peso | 5.5 | | | | |

Nota: Las especificaciones se basan en las siguientes condiciones:

- Enfriamiento: Temp. interior: 27 °CDB, 19 °CWB, Temp. exterior: 35 °CDB, Longitud equivalente de las tuberías: 7.5 m, Diferencia de nivel: 0 m.
- Calefacción: Temp. interior: 20 °CDB, Temp. exterior: 7 °CDB, 6 °CWB, Longitud equivalente de las tuberías: 7.5 m, Diferencia de nivel: 0 m.
- La capacidad de la unidad interior es solo a modo de referencia. La capacidad real de la unidad interior se basa en el índice de capacidad total. (Ver el libro de datos de ingeniería para obtener más detalles.)
- Nivel de sonido: Valor de conversión de cámara anecoica, medido a los 1.5 m hacia abajo desde el centro de la unidad. Durante la operación real, estos valores suelen ser un poco más altos como resultado de las condiciones ambientales.

Fuente:
DAIKIN

Anexo 27. Ficha técnica sistema de precisión equipo Rueda Desecante

A MAIOR VARIEDADE

Em desumidificadores compactos... a solução perfeita para todos os problemas de umidade



ESPECIFICAÇÕES - DESUMIDIFICADORES COMPACTO SÉRIE FFB

| MODELO | FFB 170 | FFB 300 | FFB 600 | FFB 1000 | FFB 1500 | FFB 2000 | FFB 3000 |
|-------------------------------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| Vazão de Processo (m³/h) | 170 | 300 | 600 | 1000 | 1500 | 2000 | 3000 |
| Pressão Estático Processo (Pa) | 150 | 150 | 200 | 200 | 200 | 200 | 250 |
| Motor de Processo | 0.1 | 0.1 | 0.37 | 0.75 | 1.5 | 1.5 | 2.2 |
| Vazão de Reativação (m³/h) | 57 | 100 | 200 | 333 | 500 | 667 | 1000 |
| Pressão Estática de Reativação (Pa) | 100 | 100 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 |
| Motor de Reativação (kW) | 0.1 | 0.1 | 0.37 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 1.1 |
| Aquecedor de Reativação (KW) | 2.3 | 3.6 | 7.2 | 12 | 18 | 24 | 31.5 |
| Alimentação (V/s/Hz) | 220/1/50-60 | 220/1/50-60 | 360/3/50-60 | 380/3/50-60 | 380/3/50-60 | 380/3/50-60 | 380/3/50-60 |
| Peso Aprox. (kg) | 66 | 74 | 109 | 147 | 191 | 202 | 235 |
| Dimensões (CxLxA) em MM | 676x470x390 | 736x540x445 | 886x630x494 | 1044x730x555 | 1204x890x585 | 1204x890x629 | 1455x1154x730 |

APLICAÇÕES ILIMITADAS

Faça um upgrade no seu processo!

PRODUÇÃO E PROCESSO

Cervejarias
Química e Petroquímica
Eletrônica
Alimentícia
Farmacêutica
Fotografia
Vidros de proteção
Jateamento etc.

ARMAZENAGEM

Metais
Eletrônicos
Alimentos
Equipamentos Militares
Componentes de precisão
Sementes
Açúcares

EMBALAGEM

Químicos
Produtos lácteos
Fertilizantes
Pós higroscópicos, etc.
Chá e café
entre outros...



INSTALE EM QUALQUER LUGAR



Coloque ao tempo



Sobre o piso



Instale em suporte na parede



Em cima de uma mesa



Suspensão no teto



Acima do forno

Fuente: Bry-Air

Anexo 28. Ficha técnica equipo para aire acondicionado de precisión

AIR COOLED: Performance data at STANDARD AIRFLOW with remote air cooled condenser

| MODEL NUMBER | | DTAD/U-02 | DTAD/U-03 | DTAD/U-04 | DTAD/U-05 |
|--|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| CAPACITY in Btu/hr - gross | | | | | |
| 80° DB/67° WB 50% RH | Total | 26,700 | 39,700 | 53,900 | 62,500 |
| | Sensible | 20,100 | 29,700 | 40,900 | 49,600 |
| 75° DB/62.5° WB 50% RH | Total | 24,600 | 36,900 | 49,700 | 58,200 |
| | Sensible | 19,300 | 28,700 | 39,200 | 47,800 |
| 75° DB/61° WB 45% RH | Total | 24,000 | 35,800 | 48,500 | 56,600 |
| | Sensible | 20,700 | 30,600 | 42,100 | 51,200 |
| 72° DB/60° WB 50% RH | Total | 23,400 | 35,300 | 47,200 | 55,700 |
| | Sensible | 18,800 | 28,100 | 38,300 | 46,800 |
| 72° DB/58.6° WB 45% RH | Total | 22,700 | 34,300 | 46,300 | 54,400 |
| | Sensible | 19,900 | 29,700 | 40,800 | 49,800 |
| BLOWER SECTION | | | | | |
| Airflow - CFM | | 800 | 1,200 | 1,600 | 2,000 |
| Standard motor - horsepower | | 1/2 | 3/4 | 1 | 1 1/2 |
| External static pressure (E.S.P.) - inches of W.G. | | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| Number of motors/fans | | 1/1 | 1/1 | 1/1 | 1/1 |
| Maximum E.S.P. (Standard Motor) | | 0.8 | 0.7 | 1.0 | 1.0 |
| Minimum E.S.P. (Next Size Motor) | | 0.8 | 1.0 | 1.2 | 1.2 |
| Next size motor - horsepower | | 3/4 | 1 | 1 1/2 | 2 |
| COMPRESSORS | | | | | |
| Type | | Scroll | Scroll | Scroll | Scroll |
| Quantity | | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Refrigerant | | R-410A | R-410A | R-410A | R-410A |
| EVAPORATOR COIL | | | | | |
| Face area - sq ft | | 4.2 | 4.2 | 6.25 | 6.25 |
| Rows of coils | | 3 | 3 | 4 | 4 |
| Face velocity - fpm | | 190 | 286 | 256 | 320 |
| REHEAT SECTION | | | | | |
| Electric | | Standard | Standard | Standard | Standard |
| kW | | 6 | 6 | 12 | 12 |
| Capacity - Btu/hr | | 20,490 | 20,490 | 40,980 | 40,980 |
| HUMIDIFIER SECTION | | | | | |
| Steam generator | | Standard | Standard | Standard | Standard |
| kW | | 3.4 | 3.4 | 3.4 | 3.4 |
| Capacity - lb/hr | | 10 | 10 | 10 | 10 |

AIR COOLED: Performance data at STANDARD airflow with remote air cooled condenser

| MODEL NUMBER | | DTAD/U-02 | DTAD/U-03 | DTAD/U-04 | DTAD/U-05 |
|--|-----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| FILTER SECTION | | | | | |
| Quantity | | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Size - inches | <i>Downflow</i> | 16x25x4 | 16x25x4 | 16x25x4 | 16x25x4 |
| | <i>Upflow</i> | 16x20x4 | 16x20x4 | 16x20x4 | 16x20x4 |
| Efficiency - MERV | | 8 | 8 | 8 | 8 |
| (Note: Efficiency based on ASHRAE Std. 52.2) | | | | | |

| | | | | | |
|--|--|-----|-----|-----|-----|
| CONNECTION SIZES | | | | | |
| Liquid line - O.D. Copper | | 1/2 | 1/2 | 1/2 | 1/2 |
| Hot gas line - O.D. Copper | | 1/2 | 1/2 | 1/2 | 1/2 |
| Condensate drain | | 3/4 | 3/4 | 3/4 | 3/4 |
| Humidifier supply | | 1/4 | 1/4 | 1/4 | 1/4 |
| (Note: Refer to Operation and Maintenance manual for recommended pipe sizing between indoor/outdoor sections.) | | | | | |

| ELECTRICAL SECTION | | Standard Motor | | | |
|---|-------------|-----------------------|----------|------------|------------|
| <u>Electrical data based on STANDARD unit, electric reheat - YES, steam generator humidifier - YES, and STANDARD MOTOR.</u> | | | | | |
| 208-230/1/60 | FLA/MCA/MOP | 47/58/60 | 54/66/70 | 91/113/125 | 97/119/125 |
| 208-230/3/60 | FLA/MCA/MOP | 29/36/40 | 33/40/45 | 55/67/70 | 59/72/80 |
| 460/3/60 | FLA/MCA/MOP | 13/16/20 | 15/19/20 | 27/33/35 | 28/34/35 |
| 575/3/60 | FLA/MCA/MOP | N/A | N/A | 20/24/25 | 22/27/30 |

| | | | | | |
|--|-------------|----------|----------|----------|----------|
| <u>Electrical data based on: electric reheat - NO, steam generator humidifier - YES, and STANDARD MOTOR.</u> | | | | | |
| 208-230/1/60 | FLA/MCA/MOP | 34/42/50 | 42/51/60 | 50/61/80 | 55/67/90 |
| 208-230/3/60 | FLA/MCA/MOP | 29/36/40 | 32/40/45 | 38/46/60 | 42/51/60 |
| 460/3/60 | FLA/MCA/MOP | 13/16/20 | 15/18/20 | 19/23/30 | 20/24/30 |
| 575/3/60 | FLA/MCA/MOP | N/A | N/A | 13/16/20 | 16/19/25 |

| | | | | | |
|--|-------------|----------|----------|------------|------------|
| <u>Electrical data based on: electric reheat - YES, steam generator humidifier - NO, and STANDARD MOTOR.</u> | | | | | |
| 208-230/1/60 | FLA/MCA/MOP | 47/58/60 | 54/66/70 | 91/113/125 | 97/119/125 |
| 208-230/3/60 | FLA/MCA/MOP | 29/36/40 | 33/40/45 | 55/67/70 | 59/72/80 |
| 460/3/60 | FLA/MCA/MOP | 13/16/20 | 15/19/20 | 27/33/35 | 28/34/35 |
| 575/3/60 | FLA/MCA/MOP | N/A | N/A | 20/24/25 | 22/27/30 |

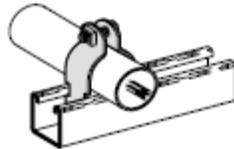
| | | | | | |
|---|-------------|----------|----------|----------|----------|
| <u>Electrical data based on: electric reheat - NO, steam generator humidifier - NO, and STANDARD MOTOR.</u> | | | | | |
| 208-230/1/60 | FLA/MCA/MOP | 18/22/35 | 25/30/50 | 34/40/60 | 39/46/70 |
| 208-230/3/60 | FLA/MCA/MOP | 13/15/25 | 16/19/30 | 21/26/40 | 25/30/50 |
| 460/3/60 | FLA/MCA/MOP | 6/7/15 | 8/9/15 | 11/14/20 | 12/15/20 |
| 575/3/60 | FLA/MCA/MOP | N/A | N/A | 8/9/15 | 10/12/15 |

| STANDARD MOTOR | | <i>FLA - Full load amps</i> | | | |
|-----------------------|--|-----------------------------|-----|-----|-------|
| Horsepower | | 1/2 | 3/4 | 1 | 1 1/2 |
| 208-230/1/60 | | 3.4 | 5.3 | 6.8 | 8.8 |
| 208-230/3/60 | | 2.2 | 3.0 | 3.6 | 4.8 |
| 460/3/60 | | 1.1 | 1.5 | 1.8 | 2.4 |
| 575/3/60 | | N/A | N/A | 1.4 | 2.0 |

FLA - Full load amps MCA - Minimum circuit amps (wire sizing amps) MOP - Maximum overcurrent protection device amps

Anexo 29.Ficha técnica soportes tipo Strut B-Line

Pipe Clamps & Hangers



B2000 SERIES PIPE AND CONDUIT CLAMPS

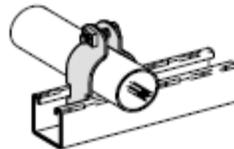
RIGID CONDUIT OR PIPE CLAMPS

| Part No. | Conduit or Pipe Size | | Material Thickness | | Design Load | | WL/C | |
|----------|----------------------|---------|--------------------|-------|-------------|--------|------|--------|
| | in. | mm | in. | mm | lbs. | kN | lbs. | kg |
| B2008 | 1/2" | (12.7) | 16 Ga. | (1.3) | 400 | (1.78) | 11 | (5.0) |
| B2009 | 3/4" | (19.0) | 14 Ga. | (1.5) | 600 | (2.67) | 15 | (6.8) |
| B2010 | 1" | (25.4) | 14 Ga. | (1.5) | 600 | (2.67) | 16 | (7.2) |
| B2011 | 1 1/4" | (31.8) | 14 Ga. | (1.5) | 600 | (2.67) | 20 | (9.1) |
| B2012 | 1 1/2" | (38.1) | 12 Ga. | (2.0) | 800 | (3.54) | 30 | (13.6) |
| B2013 | 2" | (50.8) | 12 Ga. | (2.0) | 800 | (3.54) | 34 | (15.4) |
| B2014 | 2 1/2" | (63.5) | 12 Ga. | (2.0) | 800 | (3.54) | 38 | (17.2) |
| B2015 | 3" | (76.2) | 12 Ga. | (2.0) | 800 | (3.54) | 44 | (19.9) |
| B2016 | 3 1/2" | (88.9) | 11 Ga. | (2.3) | 1000 | (4.45) | 61 | (27.6) |
| B2017 | 4" | (101.6) | 11 Ga. | (2.3) | 1000 | (4.45) | 66 | (29.9) |

STANDARD FINISHES: Electro-Plated Zinc (PLTD)

Additional sizes available.

O.D. TUBING CLAMPS



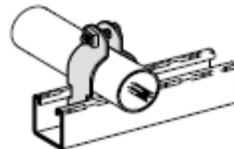
B2000 SERIES PIPE AND CONDUIT CLAMPS

| Part No. | Size | | O.D. Thickness | | Material Design Load | | WL/C | |
|----------|--------|--------|----------------|-------|----------------------|--------|------|--------|
| | in. | mm | in. | mm | lbs. | kN | lbs. | kg |
| B2024 | 3/8" | (9.5) | 16 Ga. | (1.3) | 400 | (1.78) | 8 | (3.6) |
| B2025 | 1/2" | (12.7) | 16 Ga. | (1.3) | 400 | (1.78) | 9 | (4.1) |
| B2026 | 5/8" | (15.9) | 16 Ga. | (1.3) | 400 | (1.78) | 10 | (4.5) |
| B2027 | 3/4" | (19.0) | 16 Ga. | (1.3) | 400 | (1.78) | 10 | (4.5) |
| B2028 | 7/8" | (22.2) | 16 Ga. | (1.3) | 400 | (1.78) | 11 | (5.0) |
| B2030 | 1 1/8" | (28.6) | 14 Ga. | (1.5) | 600 | (2.67) | 15 | (6.8) |
| B2032 | 1 3/8" | (34.9) | 14 Ga. | (1.5) | 600 | (2.67) | 17 | (7.7) |
| B2034 | 1 5/8" | (41.3) | 14 Ga. | (1.5) | 600 | (2.67) | 19 | (8.6) |
| B2038 | 2 1/8" | (54.0) | 12 Ga. | (2.0) | 800 | (3.54) | 32 | (14.5) |
| B2042 | 2 5/8" | (66.7) | 12 Ga. | (2.0) | 800 | (3.54) | 35 | (15.9) |

STANDARD FINISHES: Electro-Plated Zinc (PLTD)

Additional sizes available.

COPPER TUBING CLAMPS



B2000 SERIES PIPE AND CONDUIT CLAMPS

| Part No. | Size | | Material Thickness | | Design Load | | WL/C | |
|----------|--------|---------|--------------------|-------|-------------|--------|------|--------|
| | in. | mm | in. | mm | lbs. | kN | lbs. | kg |
| B2024 | 1/4" | (6.3) | 16 Ga. | (1.3) | 400 | (1.78) | 8 | (3.6) |
| B2025 | 3/8" | (9.5) | 16 Ga. | (1.3) | 400 | (1.78) | 9 | (4.1) |
| B2026 | 1/2" | (12.7) | 16 Ga. | (1.3) | 400 | (1.78) | 10 | (4.5) |
| B2028 | 3/4" | (19.0) | 16 Ga. | (1.3) | 400 | (1.78) | 11 | (5.0) |
| B2030 | 1" | (25.4) | 14 Ga. | (1.5) | 600 | (2.67) | 15 | (6.8) |
| B2032 | 1 1/4" | (31.8) | 14 Ga. | (1.5) | 600 | (2.67) | 17 | (7.7) |
| B2034 | 1 1/2" | (38.1) | 14 Ga. | (1.5) | 600 | (2.67) | 19 | (8.6) |
| B2038 | 2" | (50.8) | 12 Ga. | (2.0) | 800 | (3.54) | 32 | (14.5) |
| B2042 | 2 1/2" | (63.5) | 12 Ga. | (2.0) | 800 | (3.54) | 35 | (15.9) |
| B2046 | 3" | (76.2) | 12 Ga. | (2.0) | 800 | (3.54) | 39 | (17.7) |
| B2050 | 3 1/2" | (88.9) | 12 Ga. | (2.0) | 800 | (3.54) | 54 | (24.5) |
| B2054 | 4" | (101.6) | 12 Ga. | (2.0) | 800 | (3.54) | 61 | (27.6) |

STANDARD FINISHES: Dura-Copper (DCL)

Additional sizes available.

Cooper B-Line

5

Anexo 30. Ficha técnica cañuela ARMAFLEX

Physical Properties

| Specifications | Values | Test Method |
|---|---|--|
| Thermal Conductivity, Btu • in./h • ft ² • °F (W/mK) 75°F Mean Temperature (24°C) 90°F Mean Temperature (32°C) | 0.25 (0.036) 0.256 (0.037) | ASTM C 177 or C 518 |
| Water Vapor Permeability, Perm-In. [Kg/(s•m•Pa)] | 0.05 (0.725 x 10 ⁻⁹) | ASTM E 96, Procedure A |
| Flame Spread and Smoke Developed Index through 1-1/2" (38mm) | 25/50 | ASTM E 84 CAN/ULC S102 |
| Mold Growth Fungal Resistance Bacterial Resistance | UL 181 ASTM G21/C1338 ASTM G22 | Molds requirements Molds requirements Molds requirements |
| Water Absorption, % by Volume | 0.2% | ASTM C 209 |
| Upper Use Limit[Ⓢ] | 220°F (105°C) | — |
| Lower Use Limit[Ⓢ] | -297°F (-183°C)* | — |
| Ozone Resistance | GOOD | — |
| Sizes | | |
| Wall Thickness, (nominal) Form | 3/8", 1/2", 3/4", 1", 1-1/2" (10, 13, 16, 25 and 38mm) | — |
| Inside Diameter, Tubular Form | 3/8" ID to 6" IPS (10mm ID to 168mm) [1-1/2" wall: 7/8" to 4" IPS (22mm to 114mm)] | — |
| Length of Sections, Foot, Tubular Form | 6 (1.8m) [1-1/2" wall: 3 (0.9m)] | — |
| Density, Typical Range[Ⓢ] | 3.0 - 6.0 lbs./ft. ³ | ASTM D 1622 or D 1667 |

Notes

Ⓢ On the heating cycle, AP Armaflex Pipe Insulation will withstand temperatures as high as 220°F (105°C), ISO 550 Siltek or ISO 551 Adhesive may be used with pipe insulation applications up to 220°F (105°C).

Ⓢ At temperatures below -32°F (-35°C), elastomeric insulation starts to become less flexible. However, this characteristic does not affect thermal efficiency and resistance to water vapor permeability of Armaflex Insulation.

Ⓢ Reference only.

* For applications of -40°F to -297°F (-40°C to -183°C), contact Armaflex.

Performance approved through continuing supervision by Factory Mutual Approval.

Armaflex Pipe Insulation Thickness Recommendations

For Controlling Outer Insulation Surface Condensation

(Based upon available manufactured thicknesses and not intended to supersede any state or local building codes.)

| Pipe Size | Line Temperatures | | | |
|--|--|--|--|--|
| | 60°F (10°C) | 35°F (2°C) | 0°F (-18°C) | -20°F (-28°C) |
| BASED ON NORMAL DESIGN CONDITIONS* 3/8" ID through 1-1/8" ID (10mm-28mm) Over 1-1/8" ID through 2-1/8" ID (28mm-54mm) Over 2-1/8" ID through 2-5/8" ID (54mm-67mm) Over 2-5/8" ID through 6" IPS (67mm-168mm) | Nom 3/8" (10mm) Nom 3/8" (10mm) Nom 3/8" (10mm) Nom 1/2" (13mm) | Nom 1/2" (13mm) Nom 1/2" (13mm) Nom 1/2" (13mm) Nom 3/4" (19mm) | Nom 3/4" (19mm) Nom 1" (25mm) Nom 1" (25mm) Nom 1" (25mm) | Nom 1" (25mm) Nom 1" (25mm) Nom 1-1/4" (32mm) Nom 1-1/4" (32mm) |
| BASED ON MILD DESIGN CONDITIONS** 3/8" ID through 2-5/8" ID (10mm-67mm) Over 2-5/8" ID through 6" IPS (67mm-168mm) | Nom 3/8" (10mm) Nom 1/2" (13mm) | Nom 3/8" (10mm) Nom 1/2" (13mm) | Nom 1/2" (13mm) Nom 1/2" (13mm) | Nom 3/4" (19mm) Nom 3/4" (19mm) |
| BASED ON SEVERE DESIGN CONDITIONS* 3/8" ID through 1-5/8" ID (10mm-40mm) Over 1-5/8" ID through 3-5/8" ID (42mm-93mm) Over 3-5/8" ID through 6" IPS (93mm-168mm) | Nom 3/4" (19mm) Nom 3/4" (19mm) Nom 3/4" (19mm) | Nom 1" (25mm) Nom 1" (25mm) Nom 1" (25mm) | Nom 1-1/2" (38mm) Nom 1-1/2" (38mm) Nom 1-1/2" (38mm) | Nom 1-1/2" (38mm) Nom 1-3/4" (44mm) Nom 2" (50mm) |
| For VERY SEVERE DESIGN CONDITIONS which Armaflex would consider temperatures above 90°F (32°C) and/or above 80% RH | Consult Armaflex for recommended insulation thickness | | | |

NOTE: Thicknesses greater than 1" (25mm) are multiple-layer applications, see technical bulletin #30.

*BASED ON NORMAL DESIGN CONDITIONS AP Armaflex, in the thicknesses noted and within the specified temperature ranges will control outer insulation surface condensation indoors under normal design conditions, a maximum severity of 95°F (29°C) and 70% RH. Armaflex research and field experience indicate that indoor conditions anywhere in the United States seldom exceed this degree of severity.

**BASED ON MILD DESIGN CONDITIONS AP Armaflex, in the thicknesses noted and within the specified temperature ranges will control outer insulation surface condensation indoors under mild design conditions, a maximum severity of 90°F (27°C) and 50% RH. Typical of these conditions are most air-conditioned spaces and arid climates.

***BASED ON SEVERE DESIGN CONDITIONS AP Armaflex, in the thicknesses noted and within the specified temperature ranges will control outer insulation surface condensation indoors under severe design conditions, a maximum severity of 90°F (32°C) and 80% RH. Typical of these conditions are indoor areas in which excessive moisture is introduced or in poorly ventilated confined areas where the temperature may be depressed below ambient.

AP Armaflex Tube Insulation

www.armacell.com/us

For the latest document, please refer to our website.