

**UNIVERSIDAD CENTRAL
VICERRECTORÍA ACADÉMICA**

ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

**PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA DE
AIRE ACONDICIONADO CON AGUA HELADA POR MEDIO
DE TECNOLOGÍA DE COMPRESORES MAGNÉTICOS, EN EL
EDIFICIO TORRE B DE LA CCSS UBICADO EN BARRIO DON
BOSCO, SAN JOSÉ, PARA CUBRIR LA NECESIDAD DE
CLIMATIZACIÓN EFICIENTE, CUMPLIENDO CON
NORMATIVAS INTERNACIONALES ASHRAE Y NFPA, ASÍ
COMO LOS REQUERIMIENTOS SOLICITADOS EN
DIRECTRICES Y NORMATIVA NACIONAL PARA
INSTITUCIONES PÚBLICAS**

**MODALIDAD DE TESIS PARA OPTAR POR EL GRADO DE LICENCIATURA EN
INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

FELIPE MONGE CHINCHILLA

ING. OSCAR MEZA GUZMÁN, TUTOR

**SEDE CENTRAL
ABRIL, 2025**

Contenido

Tablas	6
Figuras	6
Dedicatoria y Agradecimiento	8
Resumen.....	9
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	10
1.1 Planteamiento Del Problema	10
Hipótesis	11
1.2 Objetivos	12
1.2.1 Objetivo General	12
1.2.2 Objetivos Específicos.....	12
1.3 Justificación	14
1.4 Antecedentes	17
1.5 Proyecciones	21
1.5.1 Alcances	23
1.5.2 Limitaciones	23
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	25
1. Edificio Torre B de la CCSS.....	25
2. Normas Nacionales e Internacionales para la Climatización de Espacios	27
2.1 Normas ASHRAE.....	29
2.2 El Protocolo de Montreal y los Gases Refrigerantes.....	31
3. Acondicionamiento del Aire.....	37
3.1 Historia del Aire Acondicionado	37
3.2 El Acondicionamiento del Aire en los Espacios de Trabajo	40
3.3 Climatización Centralizada.....	42

4. Sistemas de Aire Acondicionado	44
4.1 Ciclo de Refrigeración.....	47
4.2 Sistemas de Expansión Directa	48
4.3 Equipos de Expansión Directa con Condensador Enfriado por Agua	50
4.4 Sistemas de Refrigerante Secundario.....	50
4.5 Sistemas de aire acondicionado con agua helada “Chillers”	51
4.6 Torres de Enfriamiento.....	57
4.7 Vida Útil de los Equipos de Aire Acondicionado	60
5. Compresores para Sistemas de Aire Acondicionado.....	61
5.1 Tipos de compresores.....	62
5.2 Clases de compresores	63
5.3 Compresores Centrífugos Magnéticos.....	64
6. Eficiencia energética en equipos de aire acondicionado	66
7. Cálculo de Carga Térmica	68
7.1 Fórmulas para el Cálculo de Carga Térmica.....	71
8. Psicrometría en Cálculos de Carga Térmica.....	76
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO	79
1. Enfoque de la Investigación	79
2. Método de la Investigación	79
3. Fuentes de Información	80
4. Instrumentos y Técnicas	81
4.1 Técnicas.....	81

4.2 Instrumentos	81
5. Recolección y Análisis de Datos	82
5.1 Sistema de Aire Acondicionado Instalado	82
5.2 Características de los Equipos Instalados	84
5.3 Vida útil de los equipos de aire acondicionado del Edificio Torre B	96
6. Cálculos para el Sistema de Aire Acondicionado por Implementar	100
6.1 Análisis Psicrométrico	100
6.2 Cálculo de Carga Térmica	102
6.3 Resultado del Cálculo de Carga Térmica.....	111
7. Sistema de Aire Acondicionado Propuesto	111
7.1 Selección del Chiller.....	113
7.2 Selección de las Unidades Manejadoras de Aire	116
7.3 Sistema de Distribución de Aire	119
7.4 Sistema de Control Centralizado	121
7.5 Instalación y Disponibilidad Eléctrica	123
7.6 Consideraciones Económicas.....	125
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	131
1. Análisis del Sistema Actual	131
2. Análisis del Sistema Propuesto.....	131
3. Análisis Económico	134
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	136
Conclusiones	136
Recomendaciones	138

REFERENCIAS.....	140
APÉNDICES	144
Apéndice A. Coeficiente Global de Transferencia de Calor para Paredes.....	144
Apéndice B. Factor de radiación solar	145
Apéndice C. Coeficiente de Sombreado para Vidrio.....	146
Apéndice D. Factor de Carga de Enfriamiento para Vidrio	147
Apéndice E. Ganancia de Calor Debido a los Ocupantes del Recinto.....	148
Apéndice F. Pérdidas de Calor por Infiltración y Ventilación.....	149
Apéndice G. Características Torre de Enfriamiento PFI-1012N-4D1DS-M1	150
Apéndice H. Cotización Tratamiento Químico Torre de Enfriamiento Torre B.....	151
Apéndice I. Factura por el mantenimiento de los equipos de aire acondicionado de Torre B.....	152
Apéndice J. Chiller enfriado por aire con compresores de cojinetes magnéticos modelo TCAA110AT.....	153
Apéndice K. Unidad Manejadora de Aire Trane UCCA 3.....	154
Apéndice L. Controlador Trane UCCA 3.....	155
Apéndice M. Histórico de Consumo Edificio Torre B	156
Apéndice N. Cotización N.º 19 DJ-02-21-2025 Equipos Trane.....	157
Apéndice Ñ. Plan de Trabajo	158
.....	158

Tablas

Tabla 1 <i>Parámetros Eléctricos Torre de Enfriamiento Torre B</i>	85
Tabla 2 <i>Ficha Técnica Torre de Enfriamiento</i>	96
Tabla 3 <i>Ficha Técnica Unidades Autocontenidas</i>	97
Tabla 4 <i>Ficha Técnica de Bombas de Agua 11.18 kW</i>	98
Tabla 5 <i>Datos para análisis Psicrométrico Edificio Torre B</i>	101
Tabla 6 <i>Carga Térmica Piso 1 Torre B</i>	105
Tabla 7 <i>Carga Térmica Piso 2 Torre B</i>	106
Tabla 8 <i>Carga Térmica Piso 3 Torre B</i>	107
Tabla 9 <i>Carga Térmica Piso 4 Torre B</i>	108
Tabla 10 <i>Carga Térmica Piso 5 Torre B</i>	109
Tabla 11 <i>Carga Térmica Comedor Piso 5 Torre B</i>	110
Tabla 12 <i>Carga Térmica para Selección del Chiller</i>	112
Tabla 13 <i>Características del Chiller Trane TCAA110AT</i>	114
Tabla 14 <i>Características de Unidad Manejadora de Aire Trane UCCA 3</i>	118
Tabla 15 <i>Centro de Carga para Equipos de Aire Acondicionado Torre B</i>	124
Tabla 16 <i>Histórico de Consumo y Facturación Eléctrica Edificio Torre B</i>	126
Tabla 17 <i>Comparación de datos y costos demanda eléctrica</i>	127
Tabla 18 <i>Relación de capacidad y tiempo de trabajo para Chiller</i>	128

Figuras

Figura 1 <i>Edificio Torre B de la Caja Costarricense de Seguro Social</i>	26
Figura 2 <i>Reducción gradual en la importación de gases refrigerantes</i>	36
Figura 3 <i>Zona de confort temperatura y humedad en aires de interiores</i>	46

Figura 4 <i>Ciclo de Refrigeración por compresión</i>	47
Figura 5 <i>Sistema de Flujo o Volumen Variable de Refrigerante</i>	49
Figura 6 <i>Chiller enfriado por agua</i>	54
Figura 7 <i>Chiller enfriado por aire</i>	56
Figura 8 <i>Torre de Enfriamiento de circuito cerrado y tiro inducido</i>	59
Figura 9 <i>Compresor centrífugo magnético</i>	66
Figura 10 <i>Psicrometría del aire</i>	77
Figura 11 <i>Torre de Enfriamiento del Edificio Torre B</i>	84
Figura 12 <i>Placa de datos de la Torre de Enfriamiento</i>	87
Figura 13 <i>Estado de la Torre de Enfriamiento</i>	88
Figura 14 <i>Sistema de Bombeo de agua para Torre de Enfriamiento Torre B</i>	91
Figura 15 <i>Placa de equipos de aire acondicionado autocontenidos de Torre B</i> ..	93
Figura 16 <i>Deterioro de Evaporadores</i>	94
Figura 17 <i>Ductos de Distribución de Aire</i>	95
Figura 18 <i>Ubicación de Controles de Aire Acondicionado</i>	99
Figura 19 <i>Psicrometría Edificio Torre B</i>	102
Figura 20 <i>Herramienta de Cálculo de Carga Térmica</i>	104
Figura 21 <i>Distribución de Aire con Ductos Fijos y Flexibles</i>	120
Figura 22 <i>Distribuidores para Ductos de Aire Acondicionado</i>	121
Figura 23 <i>Controlador Trane Tracer™ UC210</i>	122
Figura 24 <i>BMS Schneider Edificio Laureano Echandi CCSS</i>	123
Figura 25 <i>Cotización de Equipos Trane para la CCSS</i>	129

Dedicatoria y Agradecimiento

Agradezco a Dios Todo Poderoso, por darme salud y capacidad para haber podido llegar a este punto tan importante en mi carrera profesional.

Agradezco a mis padres, quienes me dieron la vida y me dotaron de sustento, techo, amor y educación hasta poder valerme por mí mismo y trabajar por mis metas. Especialmente, agradezco y dedico este trabajo a doña Iris Chinchilla Chaves, mi madre, quien siempre me motivó desde niño a estudiar y sembró en mi mente que se pueden cumplir las metas con dedicación y esfuerzo, y quien ha estado a mi lado durante toda mi vida y carrera universitaria.

Un agradecimiento a mis amigos, a los profesores, y a las personas que han dado su aporte en mi carrera universitaria y profesional. Gracias a quienes también han colaborado en el desarrollo de este proyecto, el Ing. Carlos Venegas Vargas, por su apoyo y colaboración durante mi carrera; el Ing. Oscar Meza Guzmán, por su enseñanza y guía como profesor y tutor; el Ing. David Jiménez Sánchez, por su valioso aporte para la investigación y propuesta de este trabajo; y a todos aquellos que de alguna u otra forma me han brindado su valiosa ayuda.

Resumen

El presente proyecto consiste en la propuesta para la implementación de un sistema de aire acondicionado con agua helada por medio de tecnología de compresores magnéticos, en el edificio Torre B de la CCSS, con el fin de cubrir la necesidad de climatización eficiente del inmueble en cumplimiento con normativas internacionales, así como de directrices y normativa nacional para instituciones públicas, por medio de un enfoque investigativo mixto, empleando la metodología de Investigación en Ingeniería.

En este trabajo, se exponen los conceptos teóricos y de Ingeniería en el campo del aire acondicionado, necesarios para la adecuada apreciación y comprensión de lo que será expuesto en el desarrollo de la propuesta. Se realiza la evaluación del estado actual del sistema de aire acondicionado de equipos con condensador enfriado por agua proveniente de la torre de enfriamiento, lo que determina la necesidad de reemplazo por medio de criterios ingenieriles.

A través del análisis psicrométrico y cálculo de carga térmica, se analiza y realiza la propuesta del sistema con tecnología de equipos de aire acondicionado con compresores magnéticos, para el acondicionamiento de aire por medio de agua helada, el cual es energéticamente eficiente y cumple con los requerimientos de climatización. Parte importante y final de esta fase es la estimación de la inversión del precio de los equipos de este sistema de aire acondicionado, donde se demuestra la recuperación de la inversión y se recomienda la implementación del sistema.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento Del Problema

El edificio Torre B de la Caja Costarricense de Seguro Social (CCSS), ubicado en Barrio Don Bosco, San José, tiene instalado actualmente un sistema de aire acondicionado, conformado por equipos de tipo autocontenido que trabajan con refrigerante R-22, con condensador enfriado por agua proveniente de una torre de enfriamiento ubicada en la azotea de este edificio. Tanto la torre de enfriamiento como las unidades autocontenidas de aire acondicionado, en el transcurso de seis años desde la adquisición del inmueble por parte de la CCSS, han presentado fallos periódicos tanto estructurales como en sus componentes, lo cual ha provocado tiempos de paro constantes e inhabilitación de áreas de trabajo por la intervención de los equipos y el aumento de la temperatura interna en el inmueble; cabe mencionar que este sistema tiene un tiempo de servicio que supera los veinte años. Debido al tipo y edad del sistema de aire acondicionado, y a la producción y venta limitada del gas refrigerante R-22 por protocolos internacionales, existe encarecimiento y poca disponibilidad de repuestos y suministros para tales equipos, lo cual se traduce en tiempos de espera extensos para realizar las reparaciones y ser habilitados, provocando disconformidad en los usuarios, al encontrarse las áreas de trabajo fuera de los rangos de temperatura considerados confortables.

Debido a lo anterior, existe una necesidad inminente de implementar un sistema de aire acondicionado moderno con refrigerante no perjudicial ambientalmente y con tecnología energéticamente eficiente, para lograr un aprovechamiento de la energía y permitir la climatización adecuada interna del inmueble. Lo anterior conduce al

cuestionamiento: ¿Es técnicamente viable la implementación de un sistema de aire acondicionado con tecnología moderna, responsabilidad ambiental y eficiencia energética que solvante tanto la necesidad de remplazo del sistema obsoleto e ineficiente, como el existente requerimiento de acondicionamiento de aire del edificio Torre B, haciendo un uso eficiente de los recursos públicos, y en cumplimiento de los requerimientos solicitados en normativa internacional y directrices gubernamentales obligatorias para instituciones públicas?

Hipótesis

Es técnicamente viable proponer la implementación de un sistema de aire acondicionado con agua helada, mediante compresores magnéticos, en el edificio Torre B de la CCSS, ya que esta tecnología permite cumplir con las normativas internacionales ASHRAE y NFPA, así como con la normativa nacional vigente, aplicable a instituciones públicas, optimizando el uso de los recursos públicos.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Elaborar la propuesta de implementación de un sistema de aire acondicionado con agua helada por medio de tecnología de compresores magnéticos, en el edificio Torre B de la CCSS, para cubrir la necesidad de climatización eficiente, cumpliendo con normativas como ASHRAE y NFPA, así como los requerimientos solicitados en directrices y normativa a nivel internacional y nacional para instituciones públicas.

1.2.2 Objetivos Específicos

1. Evaluar el estado actual del sistema de aire acondicionado existente con condensador enfriado por agua y su viabilidad en términos de eficiencia energética, cumplimiento normativo y costos operativos, para justificar la necesidad de su reemplazo por un sistema de agua helada con compresores magnéticos.
2. Determinar las características y condiciones de las áreas de trabajo del edificio Torre B que serán climatizadas a través del análisis de la infraestructura, condiciones actuales y entorno del edificio por medio del análisis psicrométrico y cálculo de carga térmica con una herramienta especializada, con el fin de determinar el requerimiento de capacidad de enfriamiento para el sistema que será propuesto.
3. Analizar la tecnología de equipos de aire acondicionado con compresores magnéticos para el enfriamiento por medio de agua helada, en orden del cumplimiento de los requerimientos de climatización energéticamente eficiente.

4. Estimar el costo de los equipos para la propuesta del sistema de aire acondicionado centralizado de agua helada con compresores magnéticos, incluyendo las implicaciones económicas que conlleva el proyecto para ser presentada ante órganos decisorios a nivel institucional.

1.3 Justificación

El edificio Torre B es un inmueble perteneciente a la Caja Costarricense de Seguro Social, utilizado como edificio de oficinas, con una ocupación aproximada de 600 funcionarios, quienes se desempeñan en labores administrativas en jornada diurna, por lo que requiere contar con una temperatura interna adecuada para el confort del personal según lo dispuesto en la norma INTE ISO 7730, con el fin de que puedan llevar a cabo la función pública de manera eficiente.

La Caja Costarricense de Seguro Social, como ente semiautónomo gubernamental, se rige por las políticas, los lineamientos y las directrices establecidas por el Gobierno Central de Costa Rica, y debe velar por el uso eficiente y eficaz de los recursos económicos públicos, así como el cumplimiento de normativa en cuanto a las condiciones de trabajo adecuadas para sus funcionarios. Entre las políticas nacionales e internacionales, en cuanto a la instalación de equipos de climatización eficientes y con bajo impacto medio ambiental, se pueden citar la Ley Orgánica del Ambiente, N.º 7554 del 4 de octubre de 1995; la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático N.º 7414 del 13 de junio de 1994; la Aprobación de la Adhesión de Costa Rica al Convenio de Viena para la Protección de la Capa de Ozono, N.º 7228 del 6 de mayo de 1991; la aprobación del Protocolo de Montreal relativo a las sustancias agotadoras de la capa de ozono N.º 7223 del 8 de abril de 1991; el Decreto Ejecutivo N.º 35676-S-H-MAG-MINAET del 06 de agosto de 2009, el Reglamento de control de las sustancias agotadoras de la capa de ozono de acuerdo con la Ley 7223 y sus enmiendas; el Decreto Ejecutivo N.º 37614-MINAE del 10 de abril de 2013; el Reglamento para implementar un mecanismo de cuotas de importación para la

eliminación gradual del uso de HCFC limitados en el grupo I del Anexo C del protocolo de Montreal.

Para el acondicionamiento de aire del edificio Torre B, se cuenta con sistemas de aire acondicionado de tipo autocontenido con condensador enfriado por agua, proveniente de una torre de enfriamiento ubicada en el nivel de azotea, los cuales utilizan refrigerante R-22. A la fecha del presente trabajo, estos equipos de aire acondicionado han presentado fallos periódicos, tanto estructurales como en sus componentes, lo que ha provocado tiempos de paro constantes e inhabilitación de áreas de trabajo, por el aumento de la temperatura interna en el inmueble y las intervenciones invasivas. Conforme a lo establecido en el Catálogo de equipamiento industrial DMI-P04-C-02 de la CCSS, el sistema ha cumplido su vida útil, por lo que, debido al tipo y edad del sistema de aire acondicionado, y a la producción y venta limitada del gas refrigerante R-22 (Decreto Ejecutivo N.º 37614-MINAE), hay aumento exponencial de precios, así como escasa disponibilidad de repuestos y suministros para tales equipos, lo cual se refleja en tiempos de espera extensos para realizar las reparaciones y habilitar los equipos, provocando disconformidad en los usuarios, al encontrarse las áreas de trabajo fuera de los rangos de temperatura confortable (confort).

Existe una necesidad inminente de implementar un sistema de aire acondicionado moderno, que utilice refrigerante con bajo o nulo impacto ambiental y con tecnología energéticamente eficiente, para lograr la climatización interna del inmueble, dado que el sistema de aire acondicionado no cumple con estas características, por lo que, con la instalación de equipos adecuados, se brindará una solución innovadora con tecnología de punta y alta eficiencia, que solventaría tanto la necesidad de remplazo del sistema

actual (el cual es obsoleto e ineficiente), como el existente requerimiento de acondicionamiento de aire del edificio, haciendo un uso eficiente de los recursos públicos y cumpliendo con los requerimientos solicitados en directrices gubernamentales obligatorias para instituciones públicas.

Desde el punto de vista ambiental, la implementación de un sistema de aire acondicionado con agua helada, mediante tecnología de compresores magnéticos, representa una solución altamente sostenible y alineada con los compromisos internacionales y nacionales en materia de reducción de emisiones y eficiencia energética. A diferencia del sistema actual que emplea el refrigerante R-22, conocido por su alto potencial de agotamiento de la capa de ozono (PAO) y su significativo impacto en el calentamiento global (GWP), la nueva propuesta se basa en refrigerantes de bajo impacto ambiental y en un sistema de compresión sin contacto mecánico, que reduce drásticamente el consumo energético. Esta optimización energética contribuiría directamente a la disminución de la huella de carbono institucional, en concordancia con los objetivos establecidos en el Plan nacional de descarbonización 2018-2050, así como con los compromisos adquiridos en los acuerdos internacionales sobre cambio climático.

1.4 Antecedentes

Los sistemas de aire acondicionado centralizados, que utilizan agua como refrigerante secundario, se han utilizado en proyectos de climatización de edificaciones e industrias para la extracción de calor de diferentes recintos, debido a la versatilidad en cuanto a la variedad de configuraciones de instalación y eficiencia energética, lo cual puede ser constatado en investigaciones desarrolladas y proyectos implementados tanto en Costa Rica como fuera de sus fronteras.

En el proyecto “Estudio técnico económico para la sustitución del sistema de generación de agua helada de un edificio de oficinas”, realizado por Gustavo Sucre de la Universidad Central de Venezuela, se expone la sustitución del sistema de generación de agua helada (Chiller) de un edificio de oficinas; para ello se realizó un estudio del comportamiento de la planta, para determinar la necesidad de la sustitución de estos equipos. La investigación se dirigió principalmente a generar opciones para disminuir el consumo eléctrico de dicha planta y la opción de sustitución por un sistema de generación de agua helada por absorción de calor. Todas las opciones planteadas en el estudio se consideraron técnicamente factibles, por lo que para concluir cuál era la más conveniente se tomó en cuenta el carácter económico, principalmente cuál opción generaba más proyecciones de recuperación de la inversión en el menor tiempo.

El ingeniero Samir Cano Salcedo, de la Universidad Autónoma del Caribe, en su proyecto “Diseño e implementación metodológica para el desarrollo de proyectos de aire acondicionado con Chiller condensado por aire” presenta una metodología detallada para el desarrollo de proyectos de Ingeniería, asociados con sistemas de aire acondicionado con tecnología tipo Chiller con condensación por aire, estableciendo las bases teóricas

y los principios físicos que rigen los métodos de diseño y selección de cada uno de los componentes que forman parte del sistema, enfocados en la búsqueda de una manera práctica y programada de realizar cada cálculo a través de la ayuda de herramientas computacionales y programas de diseño. La metodología utilizada ofrece los criterios básicos para el análisis de precios unitarios y la formulación de la propuesta económica. Se establecen los conceptos de costos directos para la elaboración del presupuesto de una obra, entregando como resultado una hoja de cálculo para el análisis de precio unitario y un formato de cantidades y propuesta económica final.

Juan Carlo Zambrano, a través del proyecto “Oportunidades de ahorro de energía en el sistema de aire acondicionado de la biblioteca UNET” , trabajo de grado presentado ante la Universidad Nacional Experimental del Táchira en el 2006, realiza la determinación, el análisis y la evaluación de las oportunidades de ahorro de energía en el sistema de aire acondicionado de la biblioteca UNET, las cuales se obtienen realizando una auditoría energética, y una revisión documental histórica de lo que ha sido dicho sistema desde su construcción hasta la actualidad, considerando los problemas más frecuentes que se presentan en la edificación, tales como calidad de aire interior, presencia de hongos y microorganismos, además del confort térmico de los trabajadores y usuarios de la edificación. Asimismo, lleva a cabo un cálculo de cargas térmicas variable a través del tiempo que se valida a través de una comparación con la capacidad instantánea de los equipos, y que posteriormente sirve para estimar el ahorro energético derivado de las oportunidades de mejora, mediante una evaluación económica acerca de la implantación de las medidas propuestas, demostrando la efectividad si se considera su aplicación.

Juan M. Mesa Pérez, Luis Brossard González y Reynaldo Guillen Gordin Drina, en su estudio “Diseño y evaluación de Torre de Enfriamiento Autoventiladas (TEA)”, en el exponen las características de las TEA, y se comparan con las torres de enfriamiento a Contracorriente (TCC), destacando las ventajas y desventajas de cada una de ellas, así como sus límites de aplicabilidad. Debido a que el flujo de aire en las TEA se logra atomizando el agua, no se requieren empaquetadura ni ventiladores, situación que las hace muy económicas con respecto a las TCC, en determinados sistemas de refrigeración.

El proyecto de diseño de sistema de agua helada para climatización artificial, en el sector hotelero en Guanacaste, elaborado por July Andrea Castro Navarro en el 2017, realizó la determinación de la carga de enfriamiento, el dimensionamiento de tuberías y ductos, y la selección de equipos, mediante los métodos de diseño de ASHRAE y parámetros de diseño de Clima Ideal S.A. Además, se hizo un análisis para determinar la viabilidad en la utilización de un sistema hidrónico, con condensadores enfriados por agua y con condensadores enfriados por aire. Con el diseño, se determinó un requerimiento de carga de 100 toneladas de refrigeración y, mediante el análisis de viabilidad, se determinó que, por las condiciones climáticas de Guanacaste, los chillers enfriados por agua son los más eficientes. Mediante el análisis energético, se comprobó que, para las condiciones de este proyecto, la implementación de un sistema con condensadores enfriados por agua genera un ahorro de \$6 000 anuales en consumo eléctrico.

Miguel Villegas Ugalde, en su investigación “El mercado del aire acondicionado en Costa Rica, tendencias, nuevas tecnologías y estrategias”, con el fin de determinar

las tendencias del mercado en cuanto a tecnología e identificar los productos y servicios más adquiridos, y las estrategias utilizadas por los principales oferentes para satisfacer el mercado, cita la declaración de Chris Elizondo, gerente de ventas comerciales de Clima Ideal S.A., quien expresa que el mercado exige una constante innovación, se deben ofrecer soluciones enfocadas en producto de alta eficiencia energética. Además, soluciones relacionadas con aumentar la vida útil de los equipos y ofrecer al consumidor mayor calidad de vida interior. Hay un fuerte enfoque en la salud y en el aumento de la productividad en el mercado empresarial. Es por esto que la empresa debe alinearse a las nuevas exigencias del mercado, y ofrecer soluciones que garanticen la satisfacción de un cliente cada vez más exigente.

Con el objetivo de satisfacer esta necesidad de climatización eficiente, se lleva a cabo el diseño del sistema de aire acondicionado para la sucursal de La Uruca del Banco Nacional de Costa Rica, realizado por Felipe Alvarado García, estudiante de Ingeniería en Mantenimiento Industrial del Instituto Tecnológico de Costa Rica, Para este proyecto se calculó la carga térmica de la edificación, para evaluar y elegir la tecnología de aire acondicionado, mediante un análisis integral de los recintos que constituyen el establecimiento, el dimensionamiento de equipos de acuerdo con los resultados de la carga térmica, las tecnologías de refrigerantes aceptadas por normativas ambientales nacionales e internacionales, y las últimas tecnologías de sistemas inteligentes. Posteriormente, realiza una evaluación financiera, para comprobar la viabilidad del proyecto de manera cuantitativa. Con la estimación de carga térmica, se determina la capacidad de diseño necesaria para climatizar la edificación. Una vez realizado el cálculo de carga térmica, el paso siguiente es la selección de la tecnología. Debido al espacio

limitado entre cielo suspendido y el entrepiso, aunado a la cantidad de cables de la instalación eléctrica, CCTV y del sistema de supresión de incendios, elige la tecnología volumen de refrigerante variable, para proporcionar una solución de alta versatilidad, al facilitar la conexión entre las condensadoras y evaporadoras mediante tuberías compactas de refrigerante.

En el proyecto para optimizar el sistema hidrónico central de aire acondicionado actual del hotel Los Sueños Marriott Resort, mediante un análisis de desempeño y un rediseño del sistema, considerando las condiciones actuales, así como las ampliaciones previstas en los próximos años, Sebastián Navarro Salas, del Instituto Tecnológico de Costa Rica, determina que toda instalación electromecánica tiene un límite de vida útil. Una instalación hidrónica central para climatización de recintos no está exenta de esta condición, ya que conforme los equipos de un sistema de climatización se acercan a su límite de vida útil, su desempeño disminuye considerablemente. Analizar el desempeño de un sistema de climatización proporciona justificaciones y criterio sobre las decisiones que se deseen tomar sobre el sistema, como reemplazar componentes o, simplemente, rediseñarlo.

1.5 Proyecciones

El proyecto es realizado con el fin de brindar una solución innovadora con tecnología moderna, para el remplazo de los equipos del sistema actual de aire acondicionado obsoleto e ineficiente, solventando de manera adecuada el existente requerimiento de acondicionamiento de aire del edificio Torre B de la CCSS, para lo cual se presentan, a continuación, los alcances, referentes, temas que serán tratados y

desarrollados, así como las limitaciones que determinan aquellos campos que por diferentes razones no serán contemplados dentro de este trabajo.

Se espera obtener un informe técnico detallado sobre la condición del sistema de climatización actual, evaluando su eficiencia, estado de los componentes, vida útil y viabilidad de mantenimiento. Ello permitirá justificar la necesidad de sustitución y sentar las bases para la propuesta del nuevo sistema.

Se logrará establecer con precisión la demanda de refrigeración del edificio Torre B de la CCSS, considerando factores como la infraestructura, el entorno y las condiciones climáticas. Esto permitirá dimensionar correctamente el sistema propuesto, optimizando su desempeño energético.

Se presentará una solución para implementar un sistema de aire acondicionado con agua helada mediante compresores magnéticos, detallando sus características técnicas, costos de instalación y operación, así como su cumplimiento con normativas ASHRAE, NFPA y regulaciones nacionales.

Se obtendrá un estudio financiero proyectado, que permitirá determinar el costo-beneficio de la inversión en el nuevo sistema, comparando costos iniciales con el ahorro energético esperado y el retorno de inversión. Esto asegurará la optimización del gasto público y sustentará la viabilidad económica del proyecto.

Se garantizará que la propuesta cumple con las normativas establecidas por ASHRAE y NFPA, así como con las directrices nacionales aplicables a instituciones públicas. Esto asegurará que el sistema propuesto sea técnicamente viable y aprobado por las entidades reguladoras.

1.5.1 Alcances

1.5.1.1 Se realizará el análisis psicrométrico y de carga térmica de las zonas que, actualmente, cuentan con climatización por el sistema de aire acondicionado de equipos autocontenidos con condensador enfriado por agua proveniente de la torre de enfriamiento del edificio Torre B de la CCSS.

1.5.1.2 La tecnología de equipos de enfriamiento con agua como refrigerante secundario, por medio de un sistema con compresores magnéticos, será el objeto de estudio como propuesta para el reemplazo del sistema actual. Aunque existe una variedad considerable de tipos, métodos y tecnología de equipos de aire acondicionado que podrían ser tomados en cuenta para un proyecto de climatización de edificios de oficinas, solamente la tecnología antes descrita será objeto de análisis.

1.5.1.3 Como parte del diagnóstico del sistema actual, se hará el análisis de las condiciones y necesidades de la torre de enfriamiento y de los equipos de aire acondicionado autocontenidos con condensador enfriado por agua, instalados en los niveles 1 al 5 del edificio Torre B, pues son los equipos que actualmente presentan fallos constantes con tiempos de paro constantes.

1.5.2 Limitaciones

1.5.2.1 Por tratarse de un edificio de ocho niveles los pisos 6 al 8 cuentan con un sistema de aire acondicionado de expansión directa, cuyas zonas de cobertura no serán parte del estudio de carga térmica, ya que estos equipos fueron instalados en 2022 y se encuentran funcionando correctamente a la fecha del presente trabajo.

1.5.2.2 El edificio se encuentra actualmente en uso, por lo que el acceso a algunas zonas es restringido, haciendo que las revisiones del estado actual de los equipos internos sean limitadas, teniendo que hacer los muestreos en las áreas accesibles.

1.5.2.3 Debido a que el presente proyecto se enfoca en las características técnicas de los equipos tanto actuales como en propuesta, se realizará el análisis del estado de los ductos y rejillas de suministro y retorno de aire para evidenciar sus tipos y estado. Sin embargo, por el alcance del trabajo de investigación, no se hará el cálculo de recambios de aire fresco y dimensionamiento de ductos y rejillas.

1.5.2.4 Por el tipo de propuesta y alcance de este proyecto, no se realiza un análisis comparativo de otros tipos, métodos y tecnología de equipos de aire acondicionado diferentes al de agua como refrigerante secundario, enfriada por un sistema con compresores magnéticos.

1.5.2.5 El proyecto incluye el cálculo de carga térmica y la propuesta de equipos, considerando la disponibilidad eléctrica del edificio. Dadas la complejidad y la cantidad de distintos factores por considerar, no se realiza el diseño eléctrico concreto.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

1. Edificio Torre B de la CCSS

El edificio Torre B de la Caja Costarricense de Seguro Social (CCSS) forma parte de un complejo de edificios ubicados en Barrio Don Bosco, en San José. Específicamente, se ubica entre la avenida 8 y la calle 26, cerca del Cementerio Obrero. Forma parte del Centro Corporativo Internacional (CCI), junto con la Torre A y la Torre C; sin embargo, estos dos últimos no son propiedad de la CCSS. La Torre B alberga principalmente unidades técnicas de la CCSS, incluyendo áreas de la Gerencia administrativa, financiera, logística y médica. Este inmueble inicialmente fue adquirido y utilizado para reubicar temporalmente servicios y oficinas de la CCSS, durante el proceso de reforzamiento estructural del edificio Laureano Echandi, el cual es el edificio administrativo central de la institución. Actualmente, también alberga las oficinas del Laboratorio óptico de la CCSS.

Según consta en el avalúo 2540-2018 del 14 de septiembre de 2018, realizado por los profesionales de la Dirección de Arquitectura e Ingeniería de la CCSS, este es un edificio de oficinas de 9715.60 m² con una edad de construcción de 17 años a la fecha del avalúo, por lo que al tiempo presente ronda los 23 años de construcción. Conformado por estructura de mampostería y concreto reforzado, paredes exteriores de mampostería e internas de material liviano, cielos suspendidos de gypsum y fibra mineral con perfiles galvanizados y esmaltados, en la parte superior cuenta con cubierta de losa de concreto impermeabilizada.

La distribución espacial del edificio Torre B varía según los requerimientos de las unidades de trabajo que se encuentran ubicadas en cada nivel. El inmueble consta de

tres pisos de estacionamiento, donde además se encuentran equipos y sistemas de suma importancia, como el sistema de bombeo de agua potable, la bomba del sistema de supresión de incendio, los centros de carga para la distribución eléctrica, espacios de bodega, y talleres de mantenimiento electromecánico y de obra civil; ocho niveles superiores, destinados a la atención de usuarios en la planta baja, comedor para el personal en el piso 5, y los restantes seis niveles para uso de oficinas administrativas, para una población de aproximadamente 600 funcionarios.

Figura 1

Edificio Torre B de la Caja Costarricense de Seguro Social



El inmueble Torre B cuenta con los servicios de agua potable abastecida por la red pública de Acueductos y Alcantarillados, y electricidad suministrada por la Compañía Nacional de Fuerza y Luz.

La climatización de este edificio está dividida en básicamente tres tipos:

1. Sistema de aire acondicionado para la climatización de las zonas de oficina pisos 1 al 5 del edificio, conformado por equipos de diferentes capacidades de 24 000 BTU/h (7,03 kW) y 36 000 BTU/h (10,55 kW) de refrigeración, de tipo

autocontenido con condensador enfriado por agua, suministrada por una torre de enfriamiento ubicada en la azotea del edificio. Estos equipos distribuyen el aire con bajo contenido de calor por medio de ductos y rejillas, ubicados entre el cielorraso suspendido y la losa subsecuente.

2. Sistemas de aire acondicionado de flujo variable de refrigerante (VRF) con evaporadoras tipo cassette y pared alta, empotradas en el cielorraso y ancladas a la losa subsecuente, los cuales climatizan las áreas de los pisos 6 al 8 del inmueble.
3. Equipos de aire acondicionado tipo partido (split) para la extracción de calor de los cuartos donde se encuentran los equipos de comunicación e información. Las unidades condensadoras se encuentran en el nivel de azotea del edificio.

2. Normas Nacionales e Internacionales para la Climatización de Espacios

El proyecto de propuesta para la implementación de sistema de aire acondicionado con agua helada por medio de tecnología de compresores magnéticos, se desarrolla en el edificio Torre B de La Caja Costarricense de Seguro Social. Esta institución, como ente semiautónomo gubernamental, se rige por las políticas, lineamientos y directrices establecidos por el Gobierno Central de Costa Rica, y debe velar por el cumplimiento de la normativa en cuanto a las condiciones de trabajo adecuadas para sus funcionarios.

El Reglamento de construcciones de Costa Rica menciona que la ventilación de las edificaciones para comercios y oficinas puede ser natural o artificial, siendo que en el caso de la ventilación artificial se deben cumplir con las disposiciones del Cuerpo de Bomberos y el Código Eléctrico de Costa Rica (Reglamento de construcciones, artículo

177). Por consiguiente, lo dispuesto en el Reglamento a la Ley 8228, emitido mediante el Decreto Ejecutivo N.º 37615-MP, el Benemérito Cuerpo de Bomberos de Costa Rica adopta la totalidad del paquete normativo de la Asociación Nacional de Protección contra Incendios, o NFPA por sus siglas en inglés, el cual es un organismo internacional especializado en materia de prevención, seguridad humana y protección contra incendios, con excepción del sector de diseño y construcción (Reglamento a la Ley 8228, artículo 66). Esto significa que las normas NFPA son de acatamiento obligatorio en todo proyecto de construcción de obra civil, edificación existente o cualquier lugar, sea este temporal o permanente.

Dado lo anterior, se tomarán como consulta y referencia las normas de la NFPA, como las NFPA 101- ES Código de Seguridad Humana, donde se indica que, para sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado, así como los sistemas de conductos de aire acondicionado, calefacción y ventilación y el equipamiento relacionado, deben estar de acuerdo con lo dispuesto en las normas NFPA 90A o NFPA 90B, y el equipamiento de ventilación debe estar de acuerdo con NFPA 31, NFPA 54, NFPA 70, NFPA 91 o NFPA 211 (NFPA 101-ES, artículo 9.2).

La Sociedad estadounidense de ingenieros de calefacción, refrigeración y aire acondicionado, ASHRAE por sus siglas en inglés (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers), es una organización técnica y profesional internacional sin fines de lucro, fundada en 1894, dedicada a establecer y promover los estándares y buenas prácticas para el diseño, la construcción y el funcionamiento de los sistemas de climatización y refrigeración en edificios y otros tipos de instalaciones.

Hasta 1954, ASHRAE era conocida como la Sociedad estadounidense de ingenieros de calefacción y ventilación (ASHVE); en ese año cambió su nombre a la Sociedad americana de ingenieros de calefacción y aire acondicionado (ASHAE). Su nombre y organización actuales provienen de la fusión de 1959 de ASHAE y la Sociedad americana de ingenieros de refrigeración (ASRE). A pesar de tener “American” en su nombre, ASHRAE es una organización global, que realiza eventos internacionales. En 2012, se renombró con un nuevo logotipo y lema: «Dando forma al entorno construido del mañana hoy» (Meza, 2024)

2.1 Normas ASHRAE

ASHRAE 55: Condiciones Ambientales Térmicas para la Ocupación Humana. Esta norma define las condiciones ambientales interiores necesarias para lograr un confort térmico aceptable para los ocupantes. Considera factores como:

- ✓ Temperatura del aire: rango de temperatura óptimo para la comodidad humana.
- ✓ Humedad relativa: cantidad de humedad en el aire.
- ✓ Velocidad del aire: movimiento del aire en el espacio.
- ✓ Radiación térmica: intercambio de calor radiante entre las personas y las superficies del entorno.
- ✓ Vestimenta: aislamiento térmico proporcionado por la ropa.
- ✓ Nivel de actividad metabólica: tasa de producción de calor del cuerpo humano según la actividad que realiza.

La norma ASHRAE 55 proporciona métodos para determinar las zonas de confort térmico, y evaluar si un ambiente cumple con los requisitos de confort.

ASHRAE 62.1: Ventilación para una Calidad del Aire Interior Aceptable. Esta norma establece los requisitos mínimos para la ventilación y la calidad del aire interior en edificios comerciales e institucionales. Su objetivo es controlar los contaminantes del aire interior, y proporcionar una ventilación adecuada para la salud y el bienestar de los ocupantes. Aborda aspectos como:

- ✓ Tasas de ventilación: cantidad de aire exterior que se debe introducir en un espacio.
- ✓ Calidad del aire exterior: requisitos para la calidad del aire que se introduce en el edificio.
- ✓ Filtración del aire: eliminación de partículas y contaminantes del aire.
- ✓ Control de fuentes de contaminación: minimizar la generación de contaminantes dentro del edificio.

ASHRAE 90.1: Estándar de Energía para Edificios Excepto Edificios Residenciales de Baja Altura. Esta norma proporciona los requisitos mínimos para el diseño energéticamente eficiente de edificios comerciales y de gran altura. Cubre aspectos como:

- ✓ Edificaciones: aislamiento térmico de paredes, techos y pisos.
- ✓ Sistemas de aire acondicionado: eficiencia de los equipos de calefacción, ventilación y aire acondicionado.
- ✓ Iluminación: diseño eficiente de sistemas de iluminación.
- ✓ Agua caliente sanitaria: eficiencia de los sistemas de calentamiento de agua.

ASHRAE 34: Designación y Clasificación de Seguridad de los Refrigerantes

Esta norma clasifica y designa los refrigerantes según su toxicidad e inflamabilidad. Proporciona un sistema de nomenclatura estandarizado para los refrigerantes, y define las precauciones de seguridad necesarias para su manejo y uso. Es fundamental para la selección de refrigerantes seguros y ambientalmente responsables, en sistemas de refrigeración y aire acondicionado.

2.2 El Protocolo de Montreal y los Gases Refrigerantes

Con respecto al tema de los refrigerantes, es relevante mencionar que Costa Rica forma parte de los países que están dentro del acuerdo del protocolo de Montreal. El Protocolo de Montreal es un tratado internacional crucial para la protección de la capa de ozono, que se firmó en 1987 y entró en vigor en 1989, cuyo objetivo principal es la eliminación gradual de la producción y el consumo de sustancias que agotan la capa de ozono (SAO), incluyendo ciertos gases refrigerantes.

La capa de ozono estratosférica protege la vida en la Tierra, al absorber la radiación ultravioleta dañina del sol. Sin embargo, ciertas sustancias químicas, especialmente los clorofluorocarbonos (CFC), los hidroclorofluorocarbonos (HCFC) y otras sustancias halogenadas, según las investigaciones, se descubrió que agotaban esta capa protectora. El Protocolo de Montreal se estableció para abordar este problema, mediante la regulación y la eliminación gradual de estas SAO.

El protocolo ha establecido un calendario gradual para la eliminación de diferentes clases de refrigerantes:

1. Clorofluorocarbonos (CFC): los CFC, que fueron ampliamente utilizados como refrigerantes en el pasado, por ejemplo, el R-12, fueron los primeros en ser eliminados, debido a su alto potencial de agotamiento del ozono (PAO). Su producción se prohibió en los países desarrollados a partir de 1996.
2. Hidroclorofluorocarbonos (HCFC): los HCFC (R-22) se utilizaron como sustitutos de transición de los CFC, ya que tienen un PAO menor. No obstante, también contribuyen al agotamiento del ozono, aunque en menor medida, y también son potentes gases de efecto invernadero. El protocolo estableció un calendario de eliminación gradual para los HCFC, con una eliminación completa prevista para el 2030 en los países desarrollados y el 2040 en los países en desarrollo.
3. Hidrofluorocarbonos (HFC): los HFC (R-134A, R-410A) se introdujeron como sustitutos de los HCFC porque no agotan la capa de ozono. Sin embargo, muchos HFC tienen un alto potencial de calentamiento global (PCG), lo que contribuye al cambio climático. La Enmienda de Kigali del Protocolo de Montreal, adoptada en 2016, incluye la eliminación gradual de los HFC.

La Enmienda de Kigali es una adición importante al Protocolo de Montreal, que aborda el uso de los HFC. Al reconocer su alto PCG, la enmienda establece un calendario para la reducción gradual de la producción y el consumo de HFC, con diferentes plazos para los países desarrollados y en desarrollo. Esta enmienda representa un paso crucial

en la lucha contra el cambio climático, ya que la reducción de los HFC puede tener un impacto significativo en la mitigación del calentamiento global.

El Protocolo de Montreal se considera uno de los acuerdos ambientales internacionales más exitosos. Ha logrado una reducción significativa en la producción y el consumo de SAO, lo que ha llevado a una recuperación gradual de la capa de ozono. Se estima que el protocolo ha evitado millones de casos de cáncer de piel y otras enfermedades relacionadas con la exposición a la radiación ultravioleta. Además, la Enmienda de Kigali fortalece aún más el protocolo al abordar los HFC y su impacto.

Costa Rica ha estado comprometido en la implementación del Protocolo de Montreal por medio de diversas acciones para cumplir con los compromisos de este, incluyendo:

- Marco legal e institucional: Costa Rica ha incorporado las disposiciones del Protocolo de Montreal en su legislación nacional, estableciendo un marco legal sólido para el control de las SAO. El Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE) es la institución encargada de coordinar la implementación del protocolo en el país.
- Eliminación de CFC y HCFC: Costa Rica ha logrado la eliminación casi total del consumo de CFC, y ha avanzado significativamente en la eliminación de los HCFC, incluso superando algunos de los plazos establecidos por el protocolo.

- Promoción de alternativas: el país ha promovido la adopción de tecnologías y refrigerantes alternativos con bajo PAO y PCG, como los hidrocarburos (HC), el dióxido de carbono (CO₂) y las hidrofluoroolefinas (HFO).
- Capacitación y sensibilización: se han realizado programas de capacitación para técnicos en refrigeración y aire acondicionado, sobre el manejo seguro de refrigerantes alternativos y las buenas prácticas en refrigeración. También, se han implementado campañas de sensibilización pública sobre la importancia de la protección de la capa de ozono y el uso de refrigerantes ambientalmente amigables.
- Reglamentos nacionales: El Reglamento 35676-S-H-MAG-MINAET y el Reglamento 37614-MINAE definen los refrigerantes aceptados en el país, y son centrales en la aplicación del protocolo en el territorio nacional.

La Directriz N.º 011-MINAE, denominada "Directriz para la adquisición de bienes de mayor consumo eléctrico en el sector público", emitida por el Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE) de Costa Rica, establece requisitos mínimos de eficiencia energética para ciertos bienes de consumo eléctrico en el sector público, incluyendo equipos de aire acondicionado y refrigeración. Aunque no se centra exclusivamente en refrigerantes, sí los aborda en el contexto de la eficiencia energética y el cumplimiento de otras regulaciones, busca promover la compra de equipos energéticamente eficientes por parte de las instituciones públicas costarricenses, contribuyendo a la reducción del consumo energético del país y a la mitigación del cambio climático.

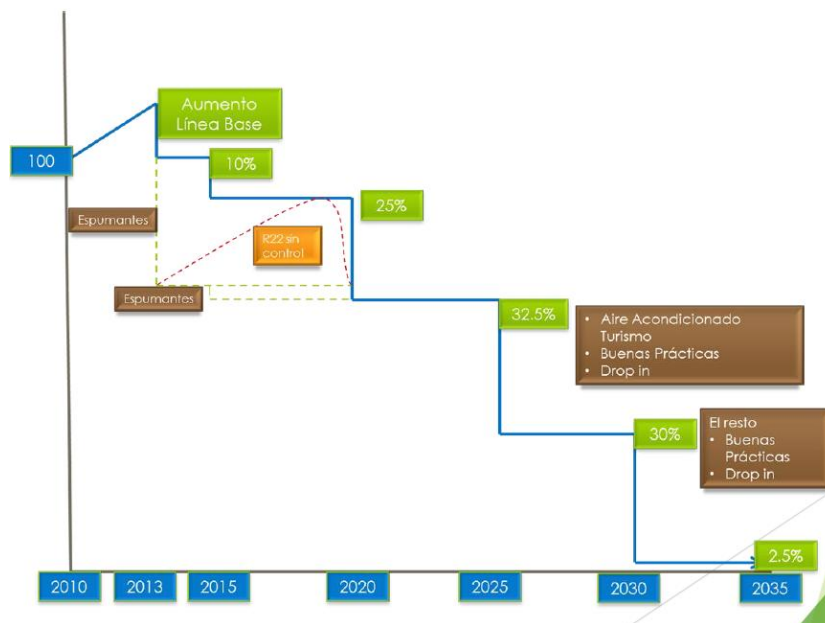
En cuanto a los equipos de aire acondicionado y refrigeración, la directriz establece que los equipos de refrigeración domésticos, comerciales y de aire

acondicionado deben cumplir con las disposiciones contenidas en el Reglamento N.º 35676-S-H-MAG-MINAET y en el Reglamento 37614-MINAE. Estos reglamentos son cruciales, porque definen los refrigerantes aceptados en el país, buscando la eliminación gradual de sustancias que agotan la capa de ozono (SAO) y la promoción de alternativas con bajo potencial de calentamiento global (PCG), en línea con el Protocolo de Montreal y la Enmienda de Kigali.

Si bien la Directriz N.º 011-MINAE no especifica directamente qué tipo de refrigerante se debe utilizar, sino el requerimiento del cumplimiento de los estatutos internacionales, la elección del refrigerante influye directamente en la eficiencia energética del equipo. Los refrigerantes con mejor desempeño termodinámico permiten que los equipos operen de manera más eficiente, consumiendo menos energía. Por lo tanto, la directriz incentiva indirectamente la utilización de refrigerantes más eficientes, que suelen ser aquellos con menor impacto ambiental, y en forma explícita esta directriz establece una prohibición de importación de equipos con refrigerantes HCFC, y una reducción gradual en la importación de gases refrigerantes listados en el grupo I del anexo C del Protocolo de Montreal. Este esquema se aprecia en la Figura 2.

Figura 2

Reducción gradual en la importación de gases refrigerantes



Nota. Para el periodo 2025-2030 se permite la importación del 30% del refrigerante ingresado en el 2010, pasando posteriormente a solamente un 2,5%. Adaptado de “Regulaciones de Eficiencia Energética (Directriz 011-MINAE)”. MINAE (2016, p. 46).

La Directriz N.º 011-MINAE también aborda la disposición final de los equipos que son reemplazados. Establece que estos equipos no pueden ser reutilizados ni donados, y deben tener una disposición final adecuada, considerando lo contemplado en la Ley para la Gestión Integral de Residuos y el Decreto Ejecutivo 38272-S. Esto es importante para el manejo adecuado de los refrigerantes contenidos en los equipos desechados, evitando su liberación al medio ambiente.

3. Acondicionamiento del Aire

3.1 Historia del Aire Acondicionado

La búsqueda de controlar la temperatura y la humedad en los espacios interiores es tan antigua como la civilización humana. Si bien el concepto moderno de aire acondicionado surgió en el siglo XX, sus raíces se remontan a miles de años atrás, con soluciones prácticas e ingeniosas que buscaban sobrellevar las altas temperaturas en zonas con climas calientes y secos. Por ejemplo, en Egipto, alrededor del año 2500 a.C. se utilizaban métodos ingeniosos para refrescar las viviendas, donde colgaban telas húmedas en las ventanas, aprovechando la evaporación del agua para enfriar el aire que entraba, siendo este un principio básico de enfriamiento evaporativo que sigue siendo utilizado en algunos sistemas de aire acondicionado modernos. En Persia, se construían "torres de viento" que capturaban las brisas y las dirigían hacia el interior de los edificios, creando corrientes de aire y ventilación natural.

En el siglo XVIII, los primeros experimentos científicos relacionados con la refrigeración fueron desarrollados, como el caso de Benjamin Franklin y John Hadley, quienes en 1758 realizaron un experimento en la Universidad de Cambridge, que demostró que la evaporación de líquidos volátiles, como el éter, podía enfriar un objeto hasta congelarlo, y en 1820 Michael Faraday descubrió que la compresión y licuefacción de amoníaco podía enfriar el aire. Estos descubrimientos sentaron las bases teóricas para el desarrollo de los sistemas de refrigeración mecánica.

En 1842, Lord Kelvin (William Thomson) formuló las leyes de la termodinámica, que proporcionaron el marco científico para comprender el funcionamiento de los ciclos de refrigeración, dando las bases del aire acondicionado tal y como se conoce hoy.

Kelvin trabajó en la invención de un sistema que fuera capaz de crear un ambiente con condiciones agradables; para conseguirlo, creó un sistema frigorífico hermético capaz de absorber el calor gracias a un gas refrigerante, basándose en tres principios:

1. El calor se transmite de la temperatura más alta a la más baja, como cuando se enfría un líquido introduciendo una cuchara de metal a la taza, y esta absorbe el calor.
2. El cambio de estado del líquido a gas absorbe calor. Por ejemplo, si se humedece la mano en alcohol, se siente "frío" en el momento en que este se evapora, puesto que absorbe el calor de la mano.
3. La presión y la temperatura están directamente relacionadas. En un recipiente cerrado, como una olla, se requiere proporcionar menor cantidad de calor para llegar a la misma temperatura que en uno abierto.

El aire acondicionado moderno se atribuye a Willis Haviland Carrier, quien en 1902 trabajaba en una imprenta de Brooklyn, Nueva York, donde diseñó un sistema para controlar la humedad y la temperatura del aire, con el objetivo de mejorar la calidad de la impresión. Este sistema utilizaba tuberías que formaban serpentines por donde circulaba agua a baja temperatura para enfriar el aire y controlar la humedad, sentando las bases del primer sistema de aire acondicionado eléctrico moderno.

En 1906, Stuart H. Cramer utilizó el término "aire acondicionado" mientras trabajaba en una fábrica textil en Carolina del Sur. Cramer buscaba controlar la humedad en el aire para mejorar el espacio.

En 1922, Carrier desarrolló la primera máquina de refrigeración centrífuga, que permitía acondicionar grandes espacios como cines y almacenes. Este invento marcó el comienzo de la expansión comercial del aire acondicionado.

En la década de 1920, el aire acondicionado comenzó a popularizarse en espacios públicos como cines, teatros y grandes almacenes, ofreciendo un refugio contra el calor del verano. Sin embargo, debido a su alto costo, el aire acondicionado doméstico tardó varios años más en llegar a los hogares.

Para la década de 1930, se desarrollaron refrigerantes más seguros, como el Freón R-12 de la compañía francesa Du Pont, que reemplazaron a los refrigerantes tóxicos e inflamables que se utilizaban anteriormente. Este avance contribuyó a la expansión del aire acondicionado en hogares y automóviles.

Después de la Segunda Guerra Mundial, la producción masiva y la reducción de costos hicieron que el aire acondicionado se volviera más accesible para la población en general, transformando la arquitectura y los hábitos de vida en muchas partes del mundo.

En las últimas décadas del siglo XX, la preocupación por el impacto ambiental de los refrigerantes, especialmente por su contribución al agotamiento de la capa de ozono y al calentamiento global, impulsó la búsqueda de alternativas más sostenibles. El Protocolo de Montreal, firmado en 1987, estableció la eliminación gradual de los clorofluorocarbonos (CFC) y los hidroclorofluorocarbonos (HCFC), dando paso a la investigación y el desarrollo de nuevos refrigerantes con menor impacto ambiental, como los hidrofluorocarbonos (HFC), los hidrocarburos (HC) y las hidrofluoroolefinas (HFO).

En el siglo XXI, la eficiencia energética y la sostenibilidad se han convertido en los principales impulsores de la innovación en la industria del aire acondicionado. Se han desarrollado tecnologías como los compresores Inverter, que ajustan la velocidad del compresor según la demanda de refrigeración, lo que permite un ahorro significativo de energía al disminuir la potencia reactiva utilizada en el arranque de los motores. También, se han implementado sistemas de control más sofisticados, y se ha puesto un mayor énfasis en el diseño de edificios energéticamente eficientes.

3.2 El Acondicionamiento del Aire en los Espacios de Trabajo

La climatización, y específicamente el aire acondicionado, juega un papel crucial en el diseño y construcción de espacios de oficinas modernos. Más allá de condiciones confortables, un sistema de climatización adecuado influye directamente en la productividad, la salud y el bienestar de los empleados.

Un ambiente de trabajo con una temperatura inadecuada puede afectar negativamente el rendimiento mental y físico de los empleados. Las temperaturas extremas, ya sean altas o bajas, pueden dificultar la concentración, aumentar la fatiga y disminuir la eficiencia en la realización de tareas. Estudios han demostrado que un ambiente térmico confortable, generalmente mantenido entre 20 °C y 24 °C con una humedad relativa adecuada (entre 30% y 60%), optimiza el rendimiento laboral (ASHRAE, 2017). Un sistema de climatización eficiente permite mantener estas condiciones, creando un ambiente propicio para la concentración, la creatividad y la productividad.

Además del impacto en la productividad, la climatización adecuada contribuye significativamente a la salud y el bienestar de los empleados. Un sistema de aire acondicionado con un buen sistema de filtración ayuda a:

- Mejorar la calidad del aire interior: Los sistemas de filtración remueven partículas, polvo, alérgenos, contaminantes y, en algunos casos, incluso microorganismos, mejorando la calidad del aire que respiran los empleados y reduciendo el riesgo de alergias, problemas respiratorios y otras enfermedades (Linter Filtros,2025)
- Prevenir el estrés térmico: las temperaturas extremas pueden causar estrés térmico, que se manifiesta en síntomas como dolor de cabeza, fatiga, irritabilidad y dificultad para concentrarse (Anelair, 2021). Un sistema de climatización eficiente previene estas condiciones, creando un ambiente de trabajo más confortable y saludable.
- Controlar la humedad: el control de la humedad es fundamental para prevenir la proliferación de moho, hongos y bacterias, que pueden causar problemas respiratorios y alergias.

Para maximizar los beneficios de la climatización en las oficinas, es importante considerar los siguientes aspectos en el diseño y la gestión de estos espacios:

- Diseño del sistema: se debe seleccionar un sistema de climatización adecuado para las características del edificio y las necesidades de los ocupantes, considerando factores como el tamaño del espacio, la cantidad de personas, la orientación del edificio y el clima local.

- **Mantenimiento regular:** el mantenimiento preventivo y correctivo de los sistemas de climatización es crucial para asegurar su eficiencia, durabilidad y la calidad del aire interior. Esto incluye la limpieza o el reemplazo regular de filtros, la revisión de los componentes del sistema y la verificación del correcto funcionamiento.
- **Control y zonificación:** implementar sistemas de control que permitan ajustar la temperatura y la ventilación en diferentes zonas de la oficina, según las necesidades de cada área, optimiza el confort y el consumo energético.
- **Eficiencia energética:** se deben seleccionar equipos de alta eficiencia energética y adoptar prácticas de uso responsable, para minimizar el consumo de energía y el impacto ambiental.
- **Cumplimiento normativo:** es fundamental asegurar el cumplimiento de las normativas locales e internacionales relacionadas con la calidad del aire interior, la eficiencia energética y la seguridad de los sistemas de climatización (como las normas ASHRAE).

3.3 Climatización Centralizada

La climatización centralizada es una forma de control de la temperatura y calidad del aire de los recintos, por medio de un sistema de aire acondicionado de forma general, mediante una unidad principal que se conecta a una red de ductos que, a su vez, trasladan el aire acondicionado por los diferentes espacios según su capacidad.

Una de las principales ventajas de la climatización centralizada es que con un diseño correcto distribuye de forma homogénea el aire por los espacios para climatizar, disminuyendo el que alguna zona se considere más fría o caliente que el resto.

Los sistemas modernos de climatización centralizada se han diseñado en los últimos años para que, por medio de tecnología en componentes y elementos como termostatos inteligentes y compresores modernos, sean energéticamente eficientes, por lo que significa que cuentan con un ahorro significativo en la facturación de energía.

Un factor importante por considerar es el hecho de que cuando hay varios sistemas de aire acondicionado para climatizar un mismo edificio, se requieren acometidas eléctricas individuales por cada unidad condensadora, lo que representa mayor cantidad de centros de carga o espacios dentro de estos, además de mayor cantidad de canalización para los conductores. Estas unidades condensadoras tienen compresores herméticos y motores eléctricos que, si bien pueden tener altos índices de eficiencia, siempre representan cargas inductivas que afectan el factor de potencia de la instalación, esto aunado a las corrientes parásitas causadas por los componentes electrónicos de control.

Por medio de controles centralizados por zonas, se permite regular y monitorear la temperatura de todo el edificio desde un único punto de mando, ya sea mediante un panel digital maestro o a través de sistemas de manejo de edificios BMS (Building Management System), incluso por medio de aplicaciones móviles. También, los sistemas permiten controlar las temperaturas de algunos espacios de forma independiente, permitiendo ajustar la temperatura de estos según la necesidad.

En cuanto al espacio, generalmente las unidades manejadoras de aire están instaladas dentro de cielorrasos o ductos verticales, por lo que no hay equipos visibles, facilitando un diseño más despejado y limpio, así como un mayor aprovechamiento de los espacios interiores. En el caso de las remodelaciones internas, comunes en edificios de oficinas, ofrecen la ventaja de que se pueden reubicar con mayor facilidad los ductos y rejillas de distribución de aire, sin ser necesaria la reubicación del equipo como tal.

Con la creciente concientización por el bien del medio ambiente, como bien se indica en las tendencias de climatización de este año 2025, los sistemas centralizados se encuentran en plena evolución para ser más sostenibles; muchas de estas opciones incluyen mejoras que, además de beneficiar el medio ambiente, también ofrecen un ahorro económico a largo plazo, como el uso de energías renovables como paneles solares, equipos con gases refrigerantes ecológicos con un menor impacto ambiental, y la integración con sistemas inteligentes para monitoreo y parametrización, logrando optimizar el consumo energético (Comfred, 2025).

4. Sistemas de Aire Acondicionado

El aire acondicionado es un proceso combinado que realiza varios subprocesos simultáneos, ya que por medio de la transferencia de calor y el principio de equilibrio térmico disminuye o aumenta la temperatura del aire, lo transporta, lo introduce en el espacio que se desea acondicionar y proporciona un ambiente confortable (Carrier, 2009).

La comodidad del cuerpo humano depende, principalmente, de cinco factores: la temperatura, la humedad relativa, el movimiento del aire, la temperatura de los objetos circundantes y las prendas de vestir.

La temperatura del medio ambiente es el índice sencillo de controlar más importante para la comodidad. Según ASHRAE (2009), los ocupantes de un recinto, vestidos con ropa de verano, realizando trabajo ligero, se sienten cómodos en el rango de la temperatura operativa de 22 °C a 25 °C, o bien, 75 °F a 77 °F, con una humedad relativa del 50%.

La humedad relativa tiene también un efecto considerable sobre la comodidad, ya que afecta la cantidad de calor que un cuerpo puede disipar por evaporación. La humedad relativa elevada retarda el rechazo de calor por evaporación, en especial a altas temperaturas, y la baja humedad relativa lo acelera. El nivel deseable de humedad relativa se encuentra en el amplio rango de 30% a 70%, siendo el nivel ideal un 50%-55%.

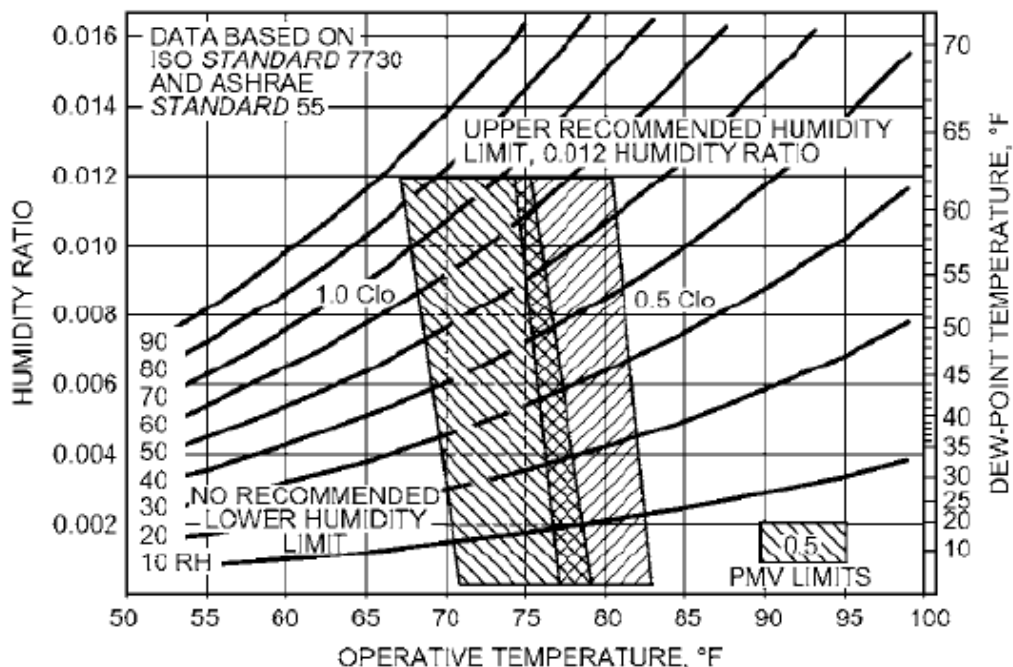
Otro factor importante, que incide en temas de confortabilidad (confort) humano, es el movimiento excesivo del aire, que causa un enfriamiento local no deseado del cuerpo humano; esta corriente de aire es identificada por muchos como uno de los factores más molestos en los lugares de trabajo. La velocidad del aire debe mantenerse por debajo de 15 m/min (50 ft/min), para minimizar la incomodidad por la corriente, en especial cuando es aire a baja temperatura. Un bajo nivel de movimiento del aire es deseable, ya que remueve el aire húmedo que se acumula alrededor del cuerpo, y lo reemplaza con aire fresco (Cengel, 2011).

Es importante recalcar que, a pesar de los parámetros ya identificados y por más eficiente que sea un sistema de aire acondicionado, es muy difícil lograr la satisfacción por completo de todos los ocupantes del recinto, por lo cual ASHRAE (2009) ha creado

un parámetro de zona de confort de temperatura y humedad de aire en interiores. Dicho parámetro se presenta en la Figura 3.

Figura 3

Zona de confort temperatura y humedad en aires de interiores



Nota. Estudio aplicado a personas con ropa de verano y en actividades sedentarias. Adaptado de "Fundamentals ASHRAE Handbook". ASHRAE (2009).

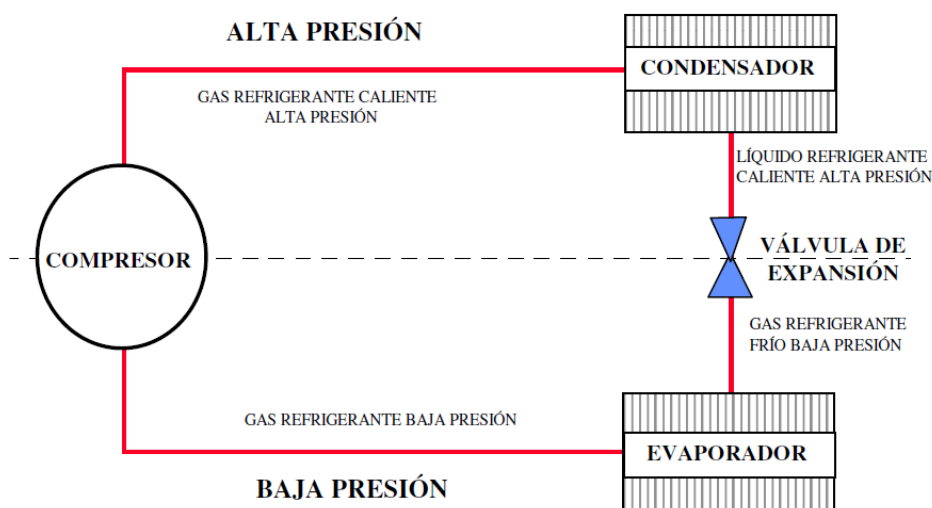
Los aires acondicionados funcionan gracias al principio de equilibrio térmico, el cual establece que, si dos cuerpos tienen diferentes temperaturas, al entrar en contacto la energía (en este caso en forma de calor) de uno se transportará al otro hasta que los dos tengan la misma temperatura. Esos dos cuerpos son el aire de la habitación con mayor contenido de calor y el gas refrigerante con menor contenido de calor y baja temperatura, intercambiados a través de tubos.

4.1 Ciclo de Refrigeración

El ciclo del sistema de refrigeración consiste en un gas refrigerante que por medio de tuberías circula a través de dispositivos intercambiadores de calor, alternando entre estado líquido y gaseoso, absorbiendo y disipando calor respectivamente. El compresor por medio de componentes mecánicos, ya sean válvulas o tornillos, eleva la presión y temperatura del refrigerante hacia el condensador, donde el refrigerante en estado gaseoso transfiere el calor hacia un ambiente externo, condensándose y entrando a un dispositivo de expansión que disminuye su presión y temperatura, para que en el evaporador absorba el calor del espacio por enfriar pasando a estado gaseoso, y llegando con baja presión y temperatura a la succión del compresor, completando el ciclo.

Figura 4

Ciclo de Refrigeración por compresión



Nota. Los componentes pueden ser más dependiendo de la aplicación y requerimientos del sistema. Adaptado de "Acondicionamiento térmico de edificios", por Santiago y Barrenche. Nobuko (2025).

Si bien el ciclo de refrigeración es básicamente el mismo en los equipos, los sistemas de aire acondicionado pueden ser tan variados como sea necesario, dependiendo de la infraestructura y aplicaciones. Entre los sistemas de aire acondicionado en función del elemento refrigerante, el cual funciona como medio para el intercambio de calor, se puede clasificarlos en equipos de expansión directa y equipos de refrigerante secundario.

4.2 Sistemas de Expansión Directa

Los sistemas de aire acondicionado de expansión directa son sistemas de refrigeración en el que el gas refrigerante absorbe calor directamente del aire interior, a través de las tuberías de un evaporador. Estos sistemas se pueden clasificar en:

1. Tipo partido: la unidad condensadora y la unidad evaporadora se encuentran respectivamente en la parte externa y la parte interna del recinto por enfriar, unidas por tuberías de cobre con aislamiento térmico; también son conocidas como split.
2. Autocontenidas: en estos sistemas todos los elementos del circuito de refrigeración se encuentran juntos en un tipo de paquete. El calor expulsado en el condensador es disipado por medio de aire forzado o agua.

4.2.1 Sistemas de Flujo Variable de Refrigerante. Es un tipo de sistema de aire acondicionado central de tipo partido-múltiple (multi-split). Utiliza gas refrigerante como medio de transferencia de calor; este refrigerante es conducido por tuberías desde una unidad externa de condensación y hacia múltiples unidades evaporadoras interiores de tipo cassette, pared alta, piso cielo o manejadoras, con dispositivos de expansión individuales, como se puede apreciar en la Figura 5. Este es un equipo de climatización

de alta tecnología y gran eficiencia, que permite regular el flujo o volumen de refrigerante, dependiendo del requerimiento de las unidades internas, por medio de compresores de tipo Inverter con moduladores de velocidad, a través de variadores de frecuencia.

Figura 5

Sistema de Flujo o Volumen Variable de Refrigerante



Nota. Diferentes tipos de unidades evaporadoras unidas a un banco de unidades condensadoras de flujo o volumen variable de refrigerante. Adaptado de “Elementos del Sistema VRF”, Climaproyectos (2025). (<https://sistemasvrf.com/elementos-sistema-vrf>)

4.3 Equipos de Expansión Directa con Condensador Enfriado por Agua

Existe una gran cantidad de unidades de aire acondicionado, siendo las unidades autocontenidas enfriadas por agua las que en su totalidad se pueden instalar dentro del recinto para climatizar. En estas unidades se encuentran, dentro del gabinete, la totalidad de los componentes del circuito de refrigeración: compresor, condensador enfriado por agua, válvula de expansión y evaporador. Además, en las unidades que cuentan con calefacción, se instala una válvula que invierte el ciclo para que el evaporador se convierta en un serpentín de calentamiento, mientras que el condensador se convierte en un serpentín de enfriamiento.

En estos equipos autocontenidos, el condensador se encuentra en un intercambiador de calor por el que circula el agua a una temperatura más baja, para posteriormente dirigirse a través de las tuberías hacia una torre de enfriamiento, donde el calor es disipado en el ambiente, ya sea por medio flujo de agua o aire.

4.4 Sistemas de Refrigerante Secundario

Los sistemas de aire acondicionado de refrigerante secundario, también conocidos como sistemas indirectos o hidrónicos, utilizan un fluido intermedio como agua o una solución de agua con glicol para transportar el calor entre el aire acondicionado central y los espacios acondicionados. A diferencia de los sistemas de expansión directa, donde el refrigerante se evapora directamente en el evaporador para enfriar el aire, en los sistemas de refrigerante secundario el refrigerante enfría el fluido, que luego se bombea a través de tuberías hasta los serpentines de enfriamiento, que funcionan como intercambiadores de calor en las unidades manejadoras de aire.

La unidad manejadora de aire es un equipo centralizado de climatización encargado de tratar el aire, ya sea elevando o disminuyendo su temperatura y humedad al pasar por el serpentín del intercambiador de calor, por el que circula el fluido refrigerante a una temperatura de entre 11 °C y 17 °C en el caso del aire acondicionado, filtrándolo primeramente y distribuyéndolo por medio de turbinas que lo fuerzan a circular a través de ductos hacia diferentes recintos de un edificio, ya sea con distribuidores como rejillas difusoras, o en el caso de sistemas de grandes capacidades, hacia subunidades para la distribución del aire tratado para proporcionar confort local. La manejadora de aire recibe aire a través de rejillas de succión (también conocidas como retornos), y de tomas de aire exterior para la inyección de aire fresco. Este aire pasa por una serie de filtros para eliminar partículas de polvo y contaminantes. Algunos equipos cuentan con intercambiadores de calor entre el aire de retorno y el aire tratado, para aumentar la eficiencia del equipo.

4.5 Sistemas de aire acondicionado con agua helada “Chillers”

Un sistema de agua helada, también conocido por su nombre en idioma inglés como chiller, es un sistema de aire acondicionado que enfría agua para entregarla por medio de tuberías a las unidades manejadoras de aire, denominadas en inglés fan-coil (abanico-serpentín), para la extracción de calor en variadas aplicaciones como industriales, comerciales, y hospitalarias. El equipo puede enfriar el agua a 6 °C y resulta ser más eficiente que las torres de enfriamiento (Mitor Ingenieros, 2022).

4.5.1 Componentes de un Chiller

- Evaporador: el refrigerante en baja temperatura y presión absorbe calor a través del evaporador, que es un intercambiador de calor, y mejora el

proceso de enfriamiento a través de la entrada y salida de agua. El agua del sistema puede contener aditivos para bajar su punto de congelamiento.

- Condensador: extrae el calor del fluido al condensar el refrigerante vaporizado en líquido; es uno o varios serpentines interconectados contruidos con tubería de cobre, con aletas de aluminio como disipadores de calor.
- Válvulas de expansión: permiten que el líquido pase de alta a baja presión en la mezcla líquido-vapor, permitiendo que pase a estado gaseoso completamente en el evaporador y complete el ciclo.
- Compresor: es el elemento que, por medio de elementos mecánicos, ya sean válvulas o tornillos, aumenta la presión del fluido refrigerante para mantener la continuidad de circulación del gas refrigerante en el sistema.

Para el proceso de enfriamiento de los chiller, Mitor Ingenieros (2022) menciona cuatro etapas, donde el evaporador, el compresor, el condensador y el dispositivo de expansión en un enfriador se someten a un proceso termodinámico.

En la primera etapa, el evaporador del enfriador actúa como un intercambiador de calor, extrayendo el calor del agua del proceso y transfiriéndolo al refrigerante líquido frío dentro del enfriador. El calor del proceso eleva la temperatura del refrigerante, lo que hace que el refrigerante cambie de líquido a baja presión a gas a baja presión. Al mismo tiempo, la temperatura del refrigerante del proceso disminuye.

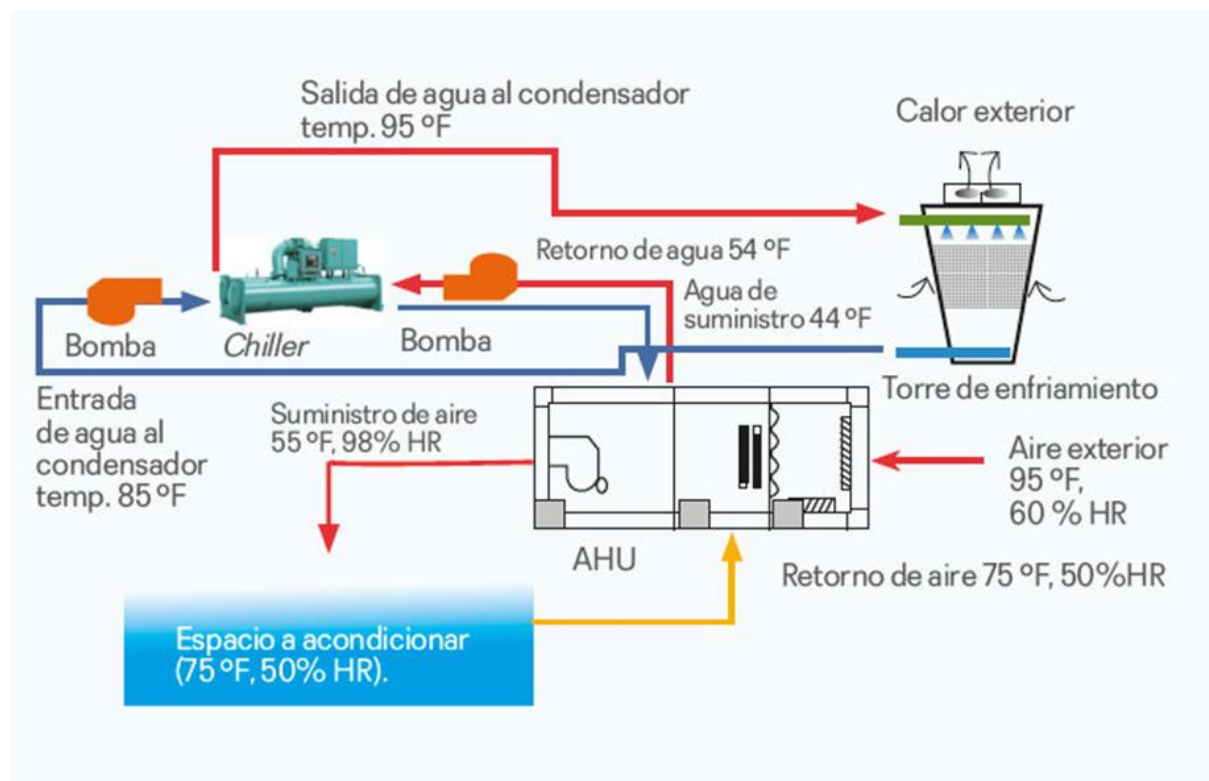
Para la segunda etapa el gas a baja presión ingresa al compresor, el cual aumenta la presión del vapor refrigerante emergente a una temperatura lo suficientemente alta como para liberar calor al condensador.

En la tercera etapa, el vapor refrigerante en el condensador vuelve a convertirse en líquido. El aire ambiente o el agua condensada eliminarán el calor del proceso de conversión de vapor a líquido, dependiendo de si es disipado por medio de aire o por agua.

La cuarta etapa es la etapa final del proceso de enfriamiento, en la que el refrigerante líquido entra a la válvula de expansión, donde baja su presión antes de ingresar al evaporador, y se repite nuevamente el ciclo de enfriamiento.

4.5.2 Tipos de Chiller por Método de Condensación. La forma en la que los chillers extraen el calor del fluido que trabaja como refrigerante secundario, es la que hace la diferencia en el tipo de condensación, dividiéndolos en condensados por aire y condensados por agua.

4.5.3 Chiller condensado por agua. Los chillers con condensador enfriado por agua son sistemas cuyo rechazo de calor del refrigerante en el condensador se da a través de un circuito alterno de agua proveniente de una torre de enfriamiento, motivo por el cual estos equipos son conocidos como chiller agua- agua (Cano, 2018). En la Figura 6 se pueden apreciar los detalles de este tipo de sistema.

Figura 6*Chiller enfriado por agua*

Nota. Adaptado de “Optimizando la eficiencia energética en chillers eléctricos”, por Franco (2022). Mundo HVAC&R (<https://www.mundohvacr.com/2022/12/optimizando-la-eficiencia-energetica-en-chillers-electricos/>)

Los chillers enfriados por agua requieren como mínimo dos sistemas de bombeo para enviar agua a las unidades internas y hacia la torre de enfriamiento. El refrigerante se condensa por intercambio de calor entre agua de torre de enfriamiento y el refrigerante; primeramente, el rechazo de calor es hacia el agua de la torre de enfriamiento, y luego hacia el medio ambiente.

Las unidades de refrigeración se instalan al interior en un cuarto de máquinas, ya que son más compactas que los enfriados por aire, además de ser menos ruidosas y con

mayor vida útil. Se estima que los enfriados por agua pueden durar de 20 a 25 años con el debido mantenimiento (Franco, 2022).

Estos sistemas enfriados por agua son más complejos de instalar y de brindar mantenimiento, debido a que tienen una mayor cantidad de elementos, como bombas y torre de enfriamiento. Algunos chillers requieren que el cuarto de máquinas tenga aire acondicionado para controlar la temperatura de los motores. En el caso del mantenimiento, la limpieza de los tubos y paneles del condensador es elemental para conservar la eficiencia del equipo.

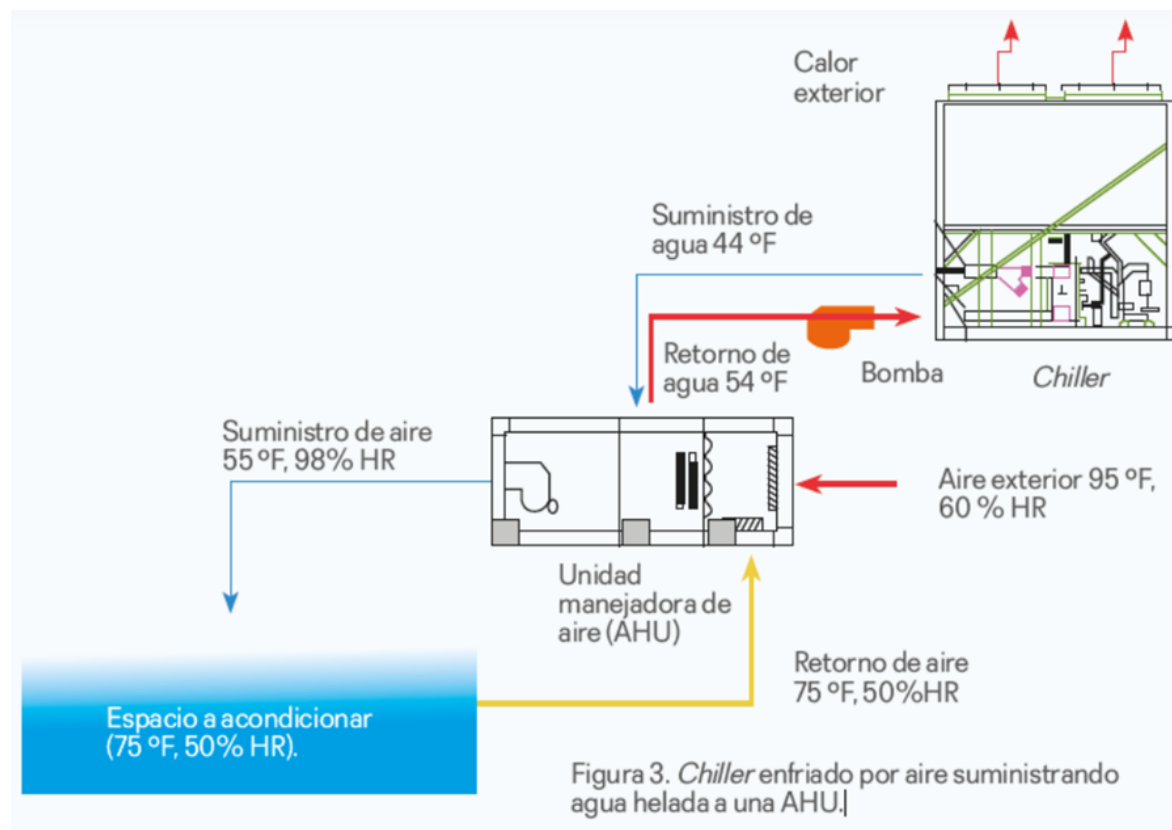
Al continuar con el tema del mantenimiento, la torre requiere procedimientos específicos, como el tratamiento químico del agua para evitar calcificación y crecimiento de algas. El consumo de agua de la torre de enfriamiento debido a la evaporación se estima en el 1% del agua que se maneja por unidad de tiempo (Franco, 2022).

4.5.4 Chiller condensado por aire. En este tipo de sistemas, el refrigerante es condensado por medio del intercambio de calor entre el aire del exterior y las tuberías del serpentín o serpentines que contienen el gas refrigerante, rechazando el calor directamente al medio ambiente, por lo que estos equipos se instalan en el exterior, ya que están diseñados para trabajar a la intemperie. Normalmente, estos sistemas requieren solo de un sistema de bombeo con redundancia, y se encuentran disponibles en el mercado en capacidades de entre 5 (mini chillers) y 500 a 600 toneladas de refrigeración (12 000 BTU/h- 3,51 kW).

En la Figura 7 se aprecia un esquema típico de un chiller enfriado por aire, que suministra agua helada a un sistema de aire acondicionado compuesto por una unidad manejadora de aire (AHU, por sus siglas en inglés).

Figura 7

Chiller enfriado por aire



Nota. Adaptado de “Optimizando la eficiencia energética en chillers eléctricos”, por Franco (2022). Mundo HVAC&R (<https://www.mundohvacr.com/2022/12/optimizando-la-eficiencia-energetica-en-chillers-electricos/>)

Entre las prestaciones de este tipo de chiller está que son equipos más sencillos y flexibles en cuanto a su instalación, lo que hace que haya una mayor facilidad de proveedores de instalación que en el caso de los enfriados por agua. De igual manera

presentan menores costos y complejidad para el mantenimiento. En estos equipos no hay pérdida de agua por evaporación como en las torres de enfriamiento, lo cual es también una ventaja importante, ya que no requiere tratamiento químico del agua de la torre.

4.6 Torres de Enfriamiento

Una torre de enfriamiento es un equipo de transferencia de calor, que se utiliza para reducir la temperatura del agua por medio del intercambio de calor entre el agua de proceso y el ambiente. El agua utilizada con alto contenido de calor se distribuye sobre un relleno o empaque dentro de la torre, con el fin de aumentar la superficie de contacto con el agua de enfriamiento y el aire. El aire que circula a través de la torre, al contener menor cantidad de calor, entra en contacto con el agua, absorbiendo calor y reduciendo su temperatura.

Las torres de enfriamiento se pueden encontrar en distintas configuraciones, dependiendo del método de transferencia de calor del agua de proceso con el ambiente, y la forma en la que la corriente de aire circula a través del intercambiador.

4.6.1 Torres de Enfriamiento de Circuito Abierto. El agua de proceso se expone directamente al ambiente. Son el tipo más común en la industria, pero también están más expuestas a los elementos presentes en el aire, por lo que requieren un tratamiento químico más exhaustivo del agua, para evitar las incrustaciones y el crecimiento de organismos como algas y líquenes.

4.6.2 Torres de Enfriamiento de Circuito Cerrado. El agua de proceso circula dentro de las tuberías en un circuito cerrado, sin exponerse al contacto directo con el aire

ambiente. Este tipo de torres son más costosas, pero requieren menos mantenimiento y el agua está menos expuesta a la contaminación; sin embargo, requieren también de un tratamiento químico del agua tanto de proceso como del intercambiador de calor.

4.6.3 Torres de Circulación Natural. Este tipo de torres se pueden clasificar en atmosféricas y de tiro natural.

Las torres atmosféricas usan las corrientes de aire de la atmósfera donde el aire se mueve de forma horizontal y el agua cae verticalmente, lo que se denomina flujo cruzado. Son torres de gran altura y pequeña sección transversal; estas deben instalarse en lugares abiertos, de forma que no haya cerca obstáculos que puedan impedir la libre circulación de aire por medio de la torre.

Las torres de tiro natural, tipo chimenea, están fundamentadas en el principio de que el aire caliente es más liviano que el aire frío. El aire se calienta por el contacto con el agua y de esta forma se produce una corriente de convección ascensional.

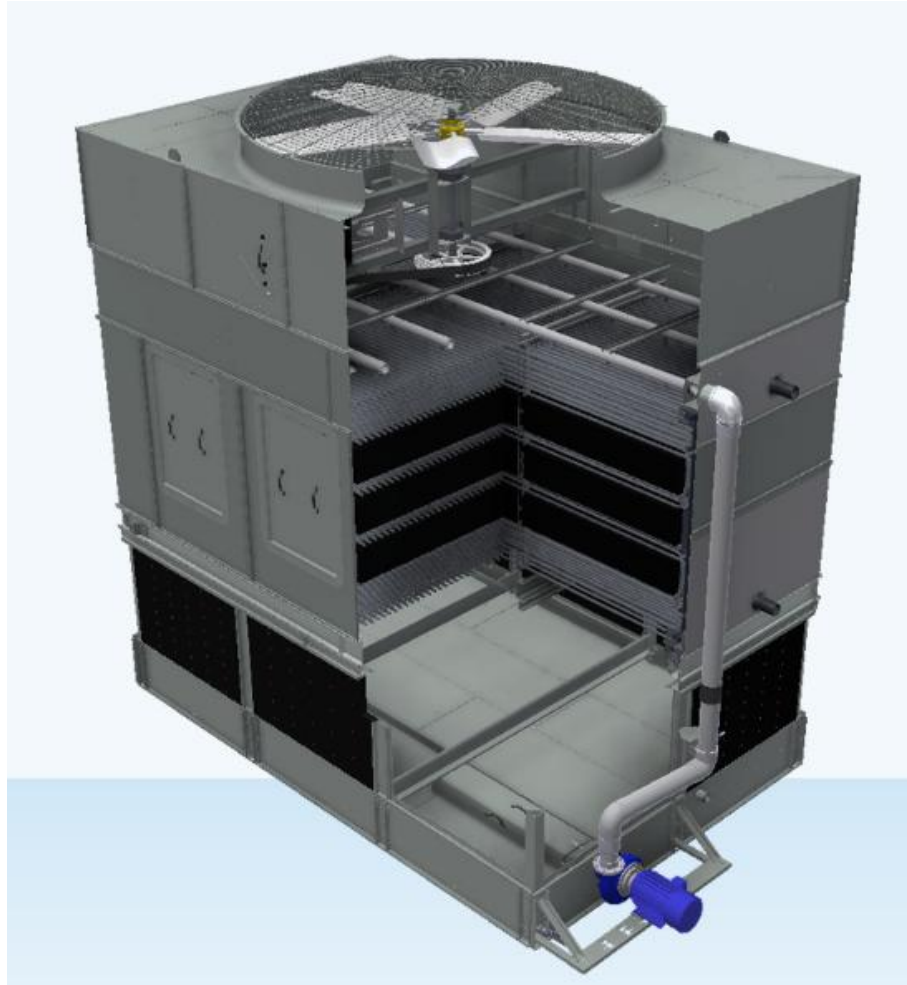
4.6.4 Torres de Tiro Mecánico. En este tipo de torre de enfriamiento se utilizan ventiladores accionados por motores eléctricos a través de fajas y poleas, o por acople directo para producir la circulación del aire. Si el ventilador está situado en la parte superior de la torre se denomina de tiro inducido y, si está en el fondo, se denomina de tiro forzado. El primero es el que más común, porque evita el retorno del aire.

4.6.5 Tipo de Pulverización del Agua. El sistema se aloja dentro de una estructura en forma de gabinete o cajón, donde se encuentran los ramales de distribución, las boquillas de pulverización y las persianas (o louvers) inclinados hacia el interior, para evitar el arrastre de gotas de agua. Las rejillas, generalmente de acero, se colocan en los lados para mejorar la circulación del aire en el interior de la torre. Este tipo

de torres están situadas en la parte externa del edificio, de modo que el aire puede pasar libremente a través de los ramales internos de la torre.

Figura 8

Torre de Enfriamiento de circuito cerrado y tiro inducido



Nota. Adaptado de “Torre de enfriamiento de circuito cerrado PFI”. Baltimore Aircoil Company (2025). (<https://baltimoreaircoil.com/es/taxonomy/term/55/torre-de-enfriamiento-de-circuito-cerrado-pfi>)

4.7 Vida Útil de los Equipos de Aire Acondicionado

La vida útil de un equipo de aire acondicionado es un factor importante por considerar a la hora de la sustitución de equipos o implementación de un proyecto de aire acondicionado. Existen varios factores influyentes en la duración de estos equipos:

- Tipo de equipo: los equipos de ventana suelen tener una vida útil de 8 a 12 años, mientras que los sistemas centrales pueden durar entre 15 y 20 años, dependiendo de las condiciones ambientales y del mantenimiento.
- Calidad del equipo: los equipos de marcas consolidadas y con mayor calidad de componentes tienden a durar más.
- Mantenimiento: un mantenimiento adecuado, que incluye la limpieza regular de filtros, la revisión y limpieza de serpentines, el monitoreo de consumo eléctrico y las presiones de refrigerante, puede prolongar la vida útil del equipo. La recomendación es cada cuatro meses (ANSI/ASHRAE 180-2008). Se recomienda también seguir lo dispuesto en el Anexo B de la NFPA 90A.
- Uso: el uso intensivo del equipo, especialmente en climas cálidos, puede acortar su vida útil.
- Condiciones ambientales: la exposición a ambientes salinos y corrosivos, como zonas costeras o industriales, puede dañar los componentes del equipo y reducir su vida útil.

En general, al hacer una investigación en diferentes fuentes y literatura técnica, se considera que la vida útil promedio de un sistema de aire acondicionado es de 10 a

15 años (Irtesc, 2024). Sin embargo, con el cuidado adecuado y un mantenimiento regular, se puede prolongar la vida de los equipos.

ASHRAE no establece una vida útil específica, ya que sus estándares y guías se centran en el rendimiento, la eficiencia y el mantenimiento de los equipos, lo que indirectamente influye en su vida útil. La NFPA tampoco establece una vida útil específica.

El Área Mantenimiento Infraestructura y Equipos Industriales (AMIEI), adscrita a la Dirección mantenimiento institucional de la CCSS, ha elaborado el Catálogo de equipos industriales GIT-DMI-AMIEI-CT001, con el objetivo de ser utilizado por las unidades usuarias de la institución, para la delimitación y consulta de los equipos industriales, con el propósito de brindar un marco de referencia en cuanto a la adquisición o sustitución de equipos, así como de establecer la vida útil de estos. Se hace la aclaración de que las especificaciones técnicas dadas en el Catálogo de equipos industriales son de carácter general, con el fin de ser una guía para los profesionales en Ingeniería, pudiendo ajustarlas a las necesidades reales del sitio, previa valoración de los equipos o sistemas a intervenir. La CCSS cuenta, además, con la Guía para la evaluación y planificación del reemplazo del equipo industrial GIT-DMI-GT001, que consiste en un documento técnico que sirve como guía para la planificación del reemplazo del equipo industrial con vida útil restante, mediante una evaluación preliminar de los equipos que actualmente se encuentran instalados en la institución.

5. Compresores para Sistemas de Aire Acondicionado

Al describir el ciclo del sistema de refrigeración, algunos autores dan énfasis desde el punto en el que se extrae el calor hasta donde es expulsado hacia una zona

designada para esto; sin embargo, por su función de poner a circular el refrigerante, el punto inicial del ciclo de la refrigeración es el compresor.

El compresor es una máquina mecánica o electromecánica, en su mayoría accionado por un motor eléctrico, que, por medio de mecanismos como pistones, válvulas, tornillos sin fin, cámaras en espiral, entre otros, eleva la presión y consecuentemente la temperatura de un gas refrigerante, para hacerlo circular a través de tuberías por los elementos del circuito cerrado de un equipo o sistema de refrigeración. Este gas refrigerante retorna nuevamente a su succión, para iniciar el ciclo nuevamente.

Con el paso de los años se han desarrollado compresores con distintas configuraciones, dependiendo de los requerimientos de la industria; estos se pueden dividir en tipos y clases.

5.1 Tipos de compresores

5.1.1 Abiertos. Estos son compresores desarmables, tienen sellos mecánicos en el eje, su mecanismo interno es movido por un motor externo, el cual les transmite la fuerza a través de unas fajas y poleas, o por acople directo al eje de accionamiento.

5.1.2 Semiherméticos. Son compresores desarmables hasta cierto punto, tienen tapas y sellos que permiten acceso para reparaciones y mantenimiento, el mecanismo interno es movido por un motor eléctrico interno.

5.1.3 Herméticos o Sellados. Compresores totalmente cerrados y no son desarmables. Están encerrados dentro de una carcasa o cuerpo herméticamente sellado, y su mecanismo interno es accionado por un motor eléctrico interno.

5.2 Clases de compresores

5.2.1 Reciprocante. Estos reciben su nombre dado a que por medio de un movimiento rotativo que es aplicado a un cigüeñal o un equivalente se convierte en alterno, al transferirlo por medio de bielas a los pistones dentro de cilindros que succionan y comprimen el gas refrigerante.

5.2.2 Rotativo. Utilizan el movimiento rotativo para accionar válvulas para succionar y comprimir el refrigerante. Son más comunes en aplicaciones domésticas y equipos de aire acondicionado de baja capacidad.

5.2.3 Caracol (Scroll). Este compresor utiliza dos discos espirales (o en forma de caracol) para comprimir el refrigerante en vapor. El caracol superior es estacionario y el inferior es móvil, formando cámaras de compresión al ser accionados. Por utilizar pocas partes movibles produce menos fricción, el ciclo de compresión es más suave, con bajos niveles de ruido y vibración.

5.2.4 Tornillo (Screw). El compresor de tornillo consta de dos rotores de forma helicoidal (tipo tornillo sin fin) conocidos como el macho y la hembra. El macho tiene cuatro dientes, mientras que la hembra tiene seis dientes. El motor mueve al macho y este a su vez mueve a la hembra, comprimiendo el refrigerante que pasa de una cámara de baja presión a la de alta presión. Son utilizados en sistemas de gran capacidad, que van desde las 20 hasta las 300 toneladas de refrigeración.

5.2.5 Centrífugos. Este tipo de compresor utiliza una turbina interna en la que el refrigerante en vapor, debido a la fuerza centrípeta, se mueve hacia la parte exterior de la turbina según la velocidad angular de esta. Son diseñados para ser utilizados en

sistemas de grandes capacidades, que van desde las 50 hasta las 5 000 toneladas de refrigeración.

5.3 Compresores Centrífugos Magnéticos

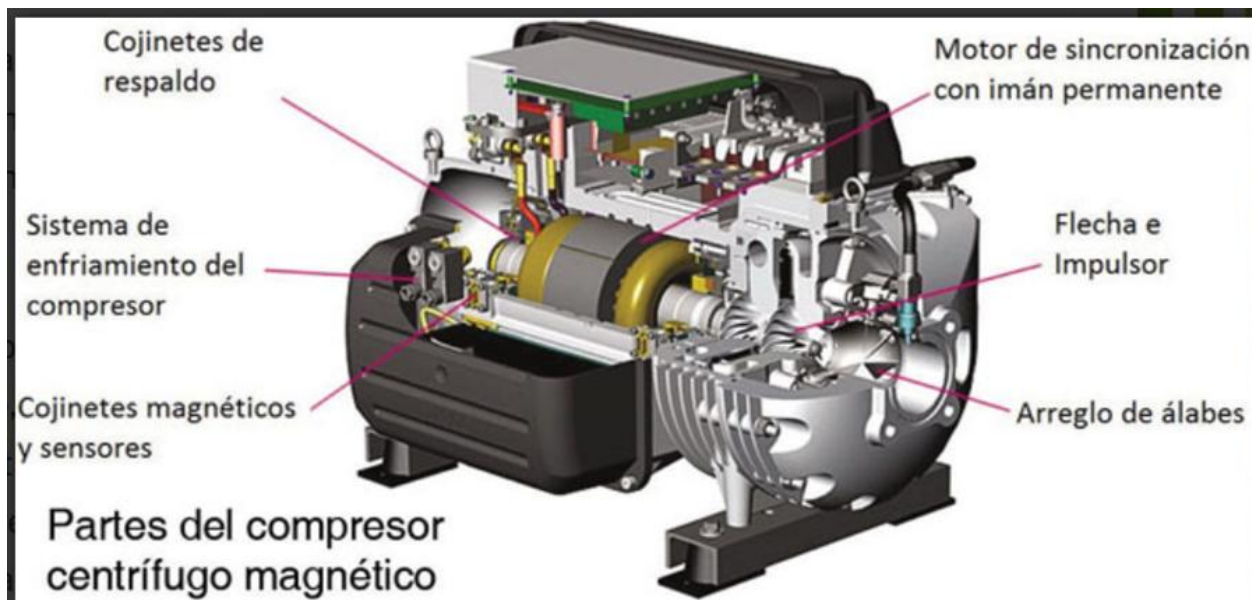
Los compresores centrífugos convencionales utilizan para el movimiento axial del eje cojinetes de rodamiento o cojinetes hidrodinámicos, los cuales presentan pérdidas de energía debido a la fricción, por lo que requieren aceite para su lubricación y enfriamiento. Los cojinetes de rodamiento cerámicos, también utilizados para estos compresores, evitan problemas en cuanto al manejo de aceite y reducen (no eliminan) la disipación de energía, ya que su lubricación y enfriamiento están dados por el refrigerante del sistema.

La tecnología de cojinetes magnéticos es significativamente diferente a lo convencional. Este sistema, por medio de electroimanes e imanes permanentes controlados mediante un sistema digital, permite al impulsor y flecha levitar para controlar su rotación y posición. Los cojinetes radiales proveen la fuerza electromotriz necesaria para generar la rotación y controlar la velocidad angular (revoluciones), mientras que el cojinete axial mantiene centrados y en posición al eje y al rotor. Cuando los cojinetes magnéticos son energizados, la flecha y el impulsor comienzan a levitar, los cojinetes magnéticos permanentes realizan esta primera etapa, mientras que el posicionamiento lo dan los electroimanes controlados digitalmente a través de cuatro sensores de posicionamiento por cada cojinete magnético, los cuales mantienen los elementos en levitación centrados, con una tolerancia de 0.0005 mm. Cada vez que se modifica la posición del punto central, los electroimanes ajustan su intensidad para corregirla, esto puede llegar a ocurrir más de seis millones de veces por minuto, y el programa de control

está diseñando para compensar automáticamente cualquier desequilibrio que pueda sufrir el arreglo (Naranjo, 2012).

El rango de capacidad de los compresores centrífugos magnéticos va desde 60 hasta 700 TR (toneladas de refrigeración), dependiendo de sus condiciones de operación, pudiendo utilizar uno o varios compresores, dependiendo del requerimiento y del diseño; sin embargo, actualmente existen chillers con capacidades de 500 TR hasta 700 TR.

En cuanto a la eficiencia, los compresores centrífugos magnéticos operan con motores eléctricos de imanes permanentes, los cuales operan en el rango de 96% al 97% de eficiencia, mientras que los motores de inducción tradicionales operan alrededor del 92% de eficiencia. Esta ventaja se debe al uso de los cojinetes magnéticos, que eliminan las pérdidas de energía asociadas con la fricción que sí se da entre partes metálicas en los cojinetes tradicionales con lubricación, las cuales pueden ser de hasta diez mil watts en pérdidas por fricción, mientras que los cojinetes magnéticos solo consumen 180 watts por la fricción del refrigerante, siendo una proporción de 500:1 en pérdida por fricción. Los consumos a carga plena llegan hasta 0.639 kW/TR con un valor integrado a cargas parciales (IPLV) de 0,365 kW/TR. Este valor IPLV puede bajar hasta 0.28 kW/TR o menor, dependiendo de las condiciones de operación y la capacidad del equipo (Naranjo, 2012).

Figura 9*Compresor centrífugo magnético*

Nota. Adaptado de “Nueva generación de compresores centrífugos magnéticos”, por Naranjo (2012). Mundo HVAC&R (<https://www.mundohvacr.com/2012/05/nueva-generacion-de-compresores-centrifugos-magneticos/>)

6. Eficiencia energética en equipos de aire acondicionado

En términos de aire acondicionado:

(...) la eficiencia se define como la relación que existe en la cantidad de energía obtenida del circuito de refrigeración del sistema y la cantidad de electricidad requerida para lograr un trabajo... entre menos energía eléctrica se utilice para obtener más capacidad de refrigeración, más eficientes serán los chillers. (Franco, 2022).

En el caso de los equipos con condensador enfriado por agua con compresor de tornillo, centrífugo o scroll, la eficiencia es de alrededor de 0,6 kW/TR (Kilo Watt por Tonelada de Refrigeración), mientras que el de un chiller enfriado por aire con los mismos

tipos de compresor puede alcanzar 1,2 kW/TR. Es importante mencionar que, en el caso de los equipos enfriados por agua, se requiere la instalación de una torre de enfriamiento para el condensador, mientras que en los enfriados por aire el enfriamiento del condensador ya está contemplada la carga de los ventiladores.

Cuando se habla de eficiencia energética en equipos de aire acondicionado, se deben conocer los términos EER y SEER. EER son las siglas de Energy Efficiency Ratio o Relación de eficiencia energética, mientras que SEER significa Seasonal Energy Efficiency Ratio o Relación de eficiencia energética estacional. El SEER toma en cuenta el rendimiento del equipo a lo largo de toda una temporada de enfriamiento, considerando diferentes condiciones climáticas.

El EER es una medida que indica la capacidad de enfriamiento de un equipo de aire acondicionado en relación con la energía eléctrica que consume, y se obtiene dividiendo la capacidad de enfriamiento del equipo en BTU/h entre la potencia eléctrica que consume en watts. Un valor de EER más alto significa que el equipo es más eficiente, ya que produce más enfriamiento por cada unidad de energía consumida.

El SEER es un promedio de los valores de EER en diferentes condiciones de funcionamiento, principalmente climatológicas, por ejemplo, invierno. Un SEER más alto indica que el equipo es más eficiente a lo largo de toda la temporada de enfriamiento, lo que se traduce en un menor consumo de energía a largo plazo.

Los chillers utilizados en los sistemas de aire acondicionado para confort generalmente funcionan a carga plena del 1% al 3% de un año; el resto del tiempo operan a cargas parciales. El American Heating and Refrigeration Institute (AHRI) desarrolló

una fórmula para medir la eficiencia de los chillers a cargas parciales, tanto para los sistemas enfriados por aire como para los enfriados por agua, midiéndola en cuatro puntos de operación, e indica que los chillers operan:

- ✓ 1% del tiempo al 100% de su capacidad.
- ✓ 42% del tiempo al 75% de su capacidad.
- ✓ 45% del tiempo al 50% de su capacidad.
- ✓ 12% del tiempo al 25% de su capacidad.

Existen indicadores como IPLV del inglés Integrated Part Load Value (Valor integrado de carga parcial), y el NPLV o Non-standard Part Load Value (Valor no-estandarizado de carga parcial). El IPLV aplica cuando un chiller es evaluado a condiciones AHRI, donde en un sistema enfriado por aire el agua se suministra a 6,7 °C y tiene un ΔT de 5,5 °C, es decir, un retorno a 12,2 °C, la temperatura de aire ambiente de 35 °C y una altura sobre el nivel del mar de 0 m. En el caso de los chillers enfriados por agua, las condiciones son: del lado del evaporador el agua helada se suministra a 6,7 °C con un ΔT de 5,5 °C, es decir, un retorno a 12,2 °C. Y la temperatura de agua de torre de 29,4 °C a la entrada del condensador y 34,6 °C a la salida. Cuando se observa un performance con NPLV, significa que estos valores no son necesariamente los valores de AHRI.

7. Cálculo de Carga Térmica

La termodinámica es la rama de la Física que estudia las relaciones entre el calor y otras formas de energía. Analiza los procesos de transferencia de energía y los cambios de estado en los sistemas. Desde el punto de vista de la termodinámica existen dos tipos

de procesos, que son: los procesos endotérmicos, donde se absorbe energía en forma de calor, y los procesos exotérmicos, que liberan energía en forma de calor. Tanto los procesos endotérmicos como los exotérmicos implican cambios en la energía potencial del sistema, que se transforma en energía cinética molecular y en calor (Meza, 2024b)

Uno de los factores más importantes por considerar en el acondicionamiento de aire es la Entalpía (H), que es una medida de la energía almacenada en forma de presión y temperatura (Pita, 2002, p. 30). En las reacciones endotérmicas se absorbe energía térmica, por lo que tienen un cambio de entalpía positivo y disminuyen la temperatura del elemento. En ese mismo sentido, las reacciones exotérmicas liberan energía, lo que representa un cambio de entalpía negativo, aumentando la temperatura del elemento.

Es importante mencionar que, para realizar el cálculo de carga térmica, se deben tomar en cuenta las dos fuentes de calor:

- Calor latente. Es la energía calórica necesaria para producir un cambio de estado en una sustancia, sin que exista un cambio de temperatura. Un ejemplo de esto es cuando ocurre el cambio de estado líquido a vapor del agua. Cuando el agua llega a los 100° C, mantiene su temperatura en esa misma cantidad hasta que se evapora por completo.
- Calor sensible. Es el calor causante de que una sustancia aumente su temperatura. Provoca un aumento o disminución de la temperatura, mientras que el calor latente solo produce un cambio de estado.

La transferencia de calor en construcciones se debe básicamente a dos tipos: pérdidas por transferencia o ganancia de calor, y pérdidas por infiltración o ventilación.

Esta transferencia de calor está condicionada por factores como el tipo de material de paredes, pisos, cubiertas y ventanas del recinto; condiciones climáticas del ambiente, cantidad y tipo de ocupación en el espacio por climatizar, iluminación y equipo instalado, entre otros.

Según Pita (2002) la transferencia de calor se da por tres modos distintos: conducción, convección, y radiación (p. 48).

- **Conducción:** es la transferencia de calor a través de un medio material, ya sea sólido, líquido o gaseoso, sin que haya movimiento macroscópico de las partículas que lo componen. La conducción se produce debido a la agitación molecular y a la transferencia de energía cinética de unas moléculas a otras.
- **Convección:** es la transferencia de calor que se produce por el movimiento de fluidos (líquidos o gases). La convección puede ser natural, cuando el movimiento del fluido se debe a diferencias de densidad causadas por variaciones de temperatura, o forzada, cuando el movimiento del fluido es provocado por medios mecánicos, como ventiladores o bombas.
- **Radiación:** es la transferencia de calor que se produce por medio de ondas sin necesidad de un medio material. Todos los cuerpos emiten radiación térmica, cuya intensidad depende de su temperatura.

Es importante aclarar que el cálculo de carga térmica no es lo mismo que la selección de un sistema de aire acondicionado, ya que el cálculo de carga térmica toma en cuenta diferentes factores para determinar la capacidad de extracción de calor de una

zona en específico, mientras que la selección del sistema depende, además, de la capacidad de intercambio de calor, de varios factores como humedad, filtración, ocupación, entre otros.

7.1 Fórmulas para el Cálculo de Carga Térmica

En el campo del aire acondicionado se utilizan dos sistemas de medición, que son: el sistema internacional y el sistema inglés. Si bien el sistema de medición establecido para Costa Rica es el sistema internacional, la mayoría de literatura técnica y científica, donde se encuentran las fórmulas y tablas para referenciar y calcular los sistemas se hallan en idioma inglés, por lo que se utilizan mayormente las unidades en el sistema inglés. Cabe mencionar que lo mismo ocurre con las tablas de datos de los equipos de aire acondicionado. Dado lo anterior, e indicando que todas las fórmulas a continuación en cuanto a cálculo de carga térmica del presente trabajo están basadas en el libro “Acondicionamiento de aire, principios y sistemas” de Pita (2002), se utiliza el sistema inglés, en el que la capacidad de transferencia de calor se da en BTU/h (Unidad térmica británica por hora), o en Tonelada de Refrigeración (TR), equivalente a 12 000 BTU/h o 3,51 kW, y la temperatura en grados Fahrenheit ($^{\circ}$ F).

Por medio de la sumatoria de los resultados de las siguientes fórmulas, y datos que se encuentran en las tablas y documentos en la sección “Apéndices” de este trabajo, se puede obtener el cálculo de la carga térmica, para determinar la capacidad de enfriamiento del sistema de aire acondicionado. Es necesario mencionar que, para determinar la capacidad de enfriamiento, se utilizará la herramienta de cálculo desarrollada por el Ing. Ignacio Del Valle Granados, del Instituto Tecnológico Nacional,

con actualizaciones del Ing. Oscar Meza Granados, Profesor de la Universidad Central de Costa Rica.

7.1.1 Conducción a través de la Estructura Interior. El calor que pasa desde los espacios interiores sin acondicionamiento hasta los espacios acondicionados, a través de divisiones, pisos y cielos rasos, se puede calcular de la siguiente forma:

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

Q = velocidad de transferencia de calor a través de la división, piso o cielo raso, BTU/h

U = coeficiente global de transferencia para la división, BTU-ft²- °F (Tabla A1)

A = área de la división, piso o cielo raso, ft²

DT= diferencia de temperatura entre espacios sin acondicionar y los acondicionados, °F

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

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

Donde:

Q: ganancia neta por radiación solar a través del vidrio, BTH/h

FGCS: factor de ganancia máxima de calor solar BTU/h - ft² (Tabla B1, B2)

A: área del vidrio, ft²

CS: coeficiente de sombreado (Tabla C1)

FCE: factor de carga de enfriamiento para vidrio. (Tabla D1)

7.1.3 Alumbrado. La ganancia de calor debido al alumbrado se calcula mediante:

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

Donde:

Q = ganancia neta de calor debida al alumbrado, BTU/h

W = capacidad del alumbrado, watts

FB = factor de balastra: 1,25

FCE = factor de carga de enfriamiento para el alumbrado: 1

7.1.4 Ocupación. La ganancia de calor debida a las personas se compone de dos partes: el calor sensible (cambio de temperatura sin cambio de estado), y el calor latente (energía requerida por una sustancia u objeto para cambiar de fase sin que varíe la temperatura). La velocidad de ganancia de calor debida a la gente depende de su actividad física (Tabla E1). Las velocidades están determinadas para una temperatura de bulbo seco de 78 °F (25 °C). Si el sistema de acondicionamiento de aire se apaga durante la noche, no se debe incluir almacenamiento por calor y el FCE = 1.

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

$$Q_l = q_l \cdot n$$

Donde:

$Q_s - Q_l = \text{ganancias de calor sensible y latente}$

$q_s - q_l = \text{ganancias de calor sensible y latente por persona}$

$n = \text{número de personas}$

$FCE = \text{factor de carga de enfriamiento para las personas, 1}$

7.1.5 Equipo. La ganancia debida al equipo se puede calcular, en ocasiones, de forma directa, consultando al fabricante o a los datos de placa, tomando en cuenta si su uso es intermitente. En el caso de que el dato sea dado en Watts, se multiplica por 3,4121 para obtener BTU/h.

7.1.6 Infiltración. La infiltración de aire a través de fisuras en las ventanas o puertas ocasiona una ganancia de calor sensible y latente, la cual se calcula:

$$Q_s = 1,1 \cdot \text{CFM} \cdot \text{CT}$$

Donde:

$Q_s = \text{calor sensible necesario para el aire de infiltración o ventilación. BTU/h}$

$\text{CFM} = \text{caudal de infiltración o ventilación del aire, ft}^3/\text{min (Tabla F1)}$

$\text{CT} = \text{cambio de temperatura entre el aire interior y exterior, } ^\circ\text{F}$

$$Q_L = 6,8 \cdot \text{CFM} \cdot (W'_i - W'_p)$$

Donde:

$Q_L = \text{calor latente necesario para el aire de infiltración o de ventilación, BTU/h}$

$\text{CFM} = \text{velocidad de infiltración o ventilación del aire, ft}^3/\text{min (Apéndice F)}$

$W'_i - W'_p =$ relaciones de humedad mayor (interior) y menor (exterior) expresadas en gramos de agua/lb de aire seco (gr w/lb d.a.).

7.1.7 Ventilación. El calor sensible y el latente del aire externo es mayor que el del aire del recinto, por lo cual se vuelve parte de la carga de enfriamiento. Este exceso de calor se elimina con el equipo de enfriamiento; por lo tanto, es parte de la carga de refrigeración, pero no de la carga del recinto.

$$Q_s = 1.1 \cdot \text{CFM} \cdot \text{CT}$$

$$Q_L = 6.8 \cdot \text{CFM} \cdot (W'_e - W'_i)$$

Donde:

$Q_s - Q_l =$ cargas de calor sensible y latente debidas al aire de ventilación, BTU/h

CFM = flujo de aire de ventilación, ft³/min

CT = cambio de temperatura entre el aire exterior e interior, °F

$W'_e - W'_i =$ humedad mayor exterior e interior, g de agua/lb de aire seco (gr w/lb d.a.).

7.1.8 Ganancia de calor en ductos. El aire acondicionado que pasa por ductos gana calor de los alrededores. Si el ducto pasa a través de espacios acondicionados, la ganancia de calor ocasiona un efecto útil de enfriamiento, pero para los ductos que pasan por lugares no acondicionados representa una pérdida de calor sensible que se suma a RSHG. Esta se puede calcular con la ecuación:

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T$$

Donde:

Q = ganancia de calor del ducto, BTU/h

U = coeficiente general de transferencia de calor, BTU/h, 0,25

A = superficie del ducto, ft²

DT = Diferencia de temperatura entre el aire en el ducto y los alrededores, °F

Existen también factores de corrección y valores estratégicos para el cálculo de carga térmica, los cuales serán mencionados y tomados en cuenta en la herramienta de cálculo utilizada en el Marco metodológico.

8. Psicrometría en Cálculos de Carga Térmica

Cuando se habla de acondicionamiento de aire o climatización, se hace referencia a varios factores que brindan ciertas características que no solo están relacionadas con temperatura del recinto o sensación térmica de este. Esas características permiten tener un ambiente climatizado para el confort térmico de los ocupantes de un recinto.

El confort térmico depende de la creación de un ambiente con temperatura de bulbo seco, humedad y movimiento del aire, que sea apropiado para el tipo de actividad de las personas en el espacio, permitiendo que la generación de calor de un cuerpo se equilibre con las de pérdidas de calor de este, por medio del aire previamente tratado.

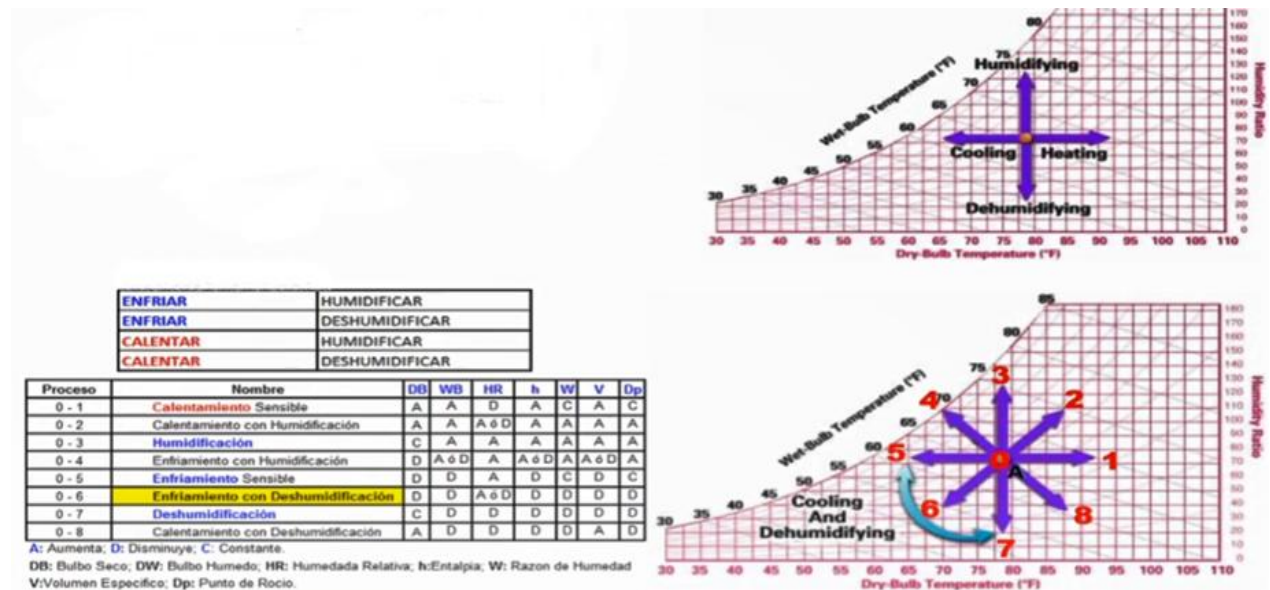
En psicrometría se pueden hacer ciertos procesos con el aire, el cual es tratado y conducido hacia la zona que se debe acondicionar. La modificación de las propiedades termodinámicas del aire son el resultado de la variación de la temperatura y la humedad,

lo cual se puede constatar en la carta psicrométrica (Figura 10) y se pueden realizar los procesos combinados, como:

- Enfriar y humidificar
- Enfriar y deshumidificar
- Calentar- deshumidificar
- Calentar – humidificar

Figura 10

Psicrometría del aire



Nota. Adaptado de “Psicrometría en cálculos de equipos de aire acondicionado para aplicaciones especiales”, por Meza (2024) Psicrometría.

Es importante mencionar que, si bien todos los equipos de aire acondicionado tienen la capacidad de tomar el calor de un recinto y disminuir su temperatura, no todos los tipos de equipos de aire acondicionado tienen el tipo de configuración necesario de climatizar el aire de un recinto logrando condiciones de temperatura, humedad, y

filtración del aire. Al tener esto en cuenta, es que se hará la selección del sistema propuesto en el presente proyecto.

Los temas y conceptos descritos en el Capítulo II permiten dar un conocimiento de los principales temas y conceptos en el campo del acondicionamiento de aire, que se desarrollarán en la descripción tanto del sistema instalado, así como la propuesta del sistema de aire acondicionado eficiente por medio de un sistema de agua helada o chiller, con compresores centrífugos magnéticos y manejadoras de refrigerante secundario en el edificio Torre B de la CCSS.

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

Por medio de la exposición de las condiciones actuales del sistema de aire acondicionado instalado en el edificio Torre B de la Caja Costarricense de Seguro Social, y al tener en cuenta los conceptos y datos teóricos expuestos en el Capítulo II del presente documento, así como con la investigación de los equipos y sistemas disponibles actualmente, se da inicio con la propuesta de implementación de un nuevo sistema de aire acondicionado eficiente y conveniente, para la climatización del inmueble objeto de estudio.

1. Enfoque de la Investigación

Dado que el proyecto consiste en la investigación y exposición de sistemas y componentes disponibles en el mercado, tanto convencionales y básicos como modernos e innovadores, así como en el cálculo de factores térmicos, eléctricos y económicos, se abarca tanto la investigación cualitativa como la cuantitativa, respectivamente. Por consiguiente, se realiza el proyecto con un enfoque investigativo mixto.

2. Método de la Investigación

El proyecto de propuesta de implementación de un sistema de aire acondicionado, por medio de un equipo de enfriamiento de agua con compresores magnéticos, empleará la metodología de Investigación en Ingeniería, expuesta por Torres et al. (2016), de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, la cual tiene una estructura propia, utilizada para plasmar diseños y desarrollos. Debido a ciertas diferencias con la metodología utilizada en las demás áreas del conocimiento, donde, con respecto a la investigación en ciencias, se comparten

similitudes, las ciencias de Ingeniería requieren una metodología específica, fundamentando sus procesos en modelos estructurales generados a partir de investigación y de diseño, dependiendo, además, del desarrollo tecnológico y con los impactos que generan en la industria.

En apego al Método de Investigación para Ingeniería, seleccionado para el desarrollo del presente proyecto, se realiza un plan de trabajo basado en: Objetivos específicos, Etapas y actividades, Técnicas por utilizar, y Sujetos o fuentes de información. Este plan de trabajo se encuentra en el Apéndice Ñ.

3. Fuentes de Información

Se utilizarán como fuentes de información, para el análisis de la problemática y del plan de trabajo, las visitas a sitio, los documentos, informes y reportes con los datos y condiciones del sistema instalado, así como las cotizaciones e información obtenida directamente de los profesionales de empresas proveedoras de equipos y sistemas de aire acondicionado.

La información suministrada por el personal de Ingeniería y Mantenimiento de la Caja Costarricense de Seguro Social, así como personal administrativo y usuarios del inmueble Torre B, forman parte de las fuentes para obtener datos técnicos e históricos.

Los criterios se basarán en la información de carácter normativo tanto a nivel interno de la Caja Costarricense de Seguro Social, como reglamentos, códigos y directrices a nivel de Costa Rica, normativas internacionales en cuanto a sistemas de aire acondicionado, y la información disponible con lo referente a los datos y características de los sistemas propuestos para la implementación del proyecto.

4. Instrumentos y Técnicas

Para la recopilación de datos, tanto de orden técnico-administrativos como de campo, dado que el enfoque de investigación es mixto, se utilizarán técnicas, equipos e instrumentos como los que se detallan:

4.1 Técnicas

4.1.1 Investigación de documentos con información de las condiciones actuales del sistema, así como normativa nacional e internacional.

4.1.2 Solicitud de información por parte de unidades administrativas y de Ingeniería de la Caja Costarricense de Seguro Social.

4.1.3 Visitas de campo al Edificio Torre B, para conocer tanto el sistema de aire acondicionado instalado como la percepción de las condiciones de temperatura de los espacios.

4.1.4 Exposición de costos por mantenimientos correctivos y reparaciones por medio de reportes y facturas.

4.1.5 Cálculo de carga térmica de los espacios por climatizar, para determinar la capacidad de extracción requerida para el nuevo sistema en propuesta.

4.2 Instrumentos

4.2.1 Muestreo y registro fotográfico del estado de los componentes de los equipos.

4.2.2 Documentación con información del tratamiento químico del agua de la torre de enfriamiento del edificio Torre B.

4.2.3 Reportes y facturas de mantenimiento preventivo y correctivo de los equipos, por parte de la empresa encargada del mantenimiento.

4.2.4 Medidores de temperatura de aire ExTech IR42515.

4.2.5 Medidor de corriente y tensión FLUKE 376.

4.2.6 Catálogos, fichas técnicas, y datos de placa de los equipos y sistemas instalados y propuestos.

5. Recolección y Análisis de Datos

5.1 Sistema de Aire Acondicionado Instalado

El edificio Torre B de la CCSS es de oficinas de 9715.60 m² con una edad de construcción de 17 años a la fecha del avalúo 2540-2018, del 14 de septiembre de 2018, realizado por los profesionales de la Dirección de Arquitectura e Ingeniería de la CCSS, por lo que al mes de febrero de 2025 tiene un aproximado de 23 años de construcción. Este edificio inicialmente perteneció al Complejo corporativo internacional de hogares de Costa Rica, en abril de 2019 fue adquirido por la CCSS, con el fin de ser utilizado para oficinas administrativas.

Se realizó la consulta al Lic. Edgar Fallas Rojas, administrador de inmuebles para Hogares de Costa Rica, con respecto a la fecha de instalación del sistema de aire acondicionado del edificio Torre B, quien indicó que los equipos fueron instalados una vez finalizada la construcción del inmueble, lo cual, junto con los datos de placa de los equipos, es un indicativo de que ese sistema tiene, a febrero de 2025, aproximadamente 22 años desde su instalación y consiguiente puesta en marcha.

El sistema de aire acondicionado en el edificio Torre B, objeto del presente proyecto, está conformado de la siguiente manera:

- Torre de enfriamiento de circuito cerrado con flujo de aire de tipo inducido marca Baltimore Air Coil. No se cuenta con los datos de placa, por lo que, dada la cantidad y capacidad de unidades autocontenidas dependientes de este equipo, se calcula en un aproximado de 134 toneladas de refrigeración ($1,608 \times 10^6$ BTU/h) o 470,34 kW.
- Sistema redundante de recirculación de agua, conformado por dos bombas de agua marca Bell & Gossett, motor trifásico marca US Electrical Motor, potencia 15 HP, flujo de 400 GPM (galones por minuto), tensión 208-230 VAC/60Hz/3Ph.
- Equipos de aire acondicionado autocontenidos con condensador enfriado por agua: cinco equipos de aire acondicionado autocontenido con capacidad de enfriamiento de 24 000 BTU/h (7,02 kW), marca Florida Heat Pump, modelo EM024-1HZC, R-22, 208-230 VAC/60Hz/3Ph, actualmente fuera de funcionamiento; 24 equipos de aire acondicionado autocontenido con capacidad de enfriamiento de 60 000 BTU/h (17,55 kW), marca Florida Heat Pump, modelo EM060-3HZC, R-22, 208-230 VAC/60Hz/3Ph.

El mantenimiento preventivo y correctivo de este sistema de aire acondicionado se entregó a la Subárea Taller Electromecánico de la Dirección de Mantenimiento Institucional a partir de 2020. Posteriormente, la Subárea Taller Electromecánico contrata a la empresa Saire S.A., quien realiza el mantenimiento preventivo y correctivo a partir de noviembre de 2021 hasta noviembre de 2024, quedando el mantenimiento preventivo

a cargo de los técnicos en aire acondicionado de la Subárea Taller Electromecánico. La periodicidad del mantenimiento de los equipos se realiza de manera trimestral.

5.2 Características de los Equipos Instalados

5.2.1 Torre de Enfriamiento. El edificio Torre B cuenta con una torre de enfriamiento de tipo circuito cerrado, con enfriamiento por medio de agua y circulación de aire de tiro inducido con flujo transversal. Como se aprecia en la Figura 11, este equipo se encuentra ubicado en la azotea del edificio, donde las corrientes de aire exterior permiten el intercambio de calor hacia el espacio abierto.

Figura 11

Torre de Enfriamiento del Edificio Torre B



Nota. A esta torre de enfriamiento, originalmente en color rojo, le fue aplicada pintura anticorrosiva de alto rendimiento en color verde según el código de colores ASME-ANSI A13.1.

En cuanto a los datos del equipo, la placa de datos se encuentra ilegible, por lo que no es posible leer las características de fábrica de la torre, como el modelo, la capacidad térmica, y la fecha de fabricación (ver Figura 12). Las características generales de la torre son las siguientes:

- Marca: Baltimore Aircoil Company
- Tiempo en funcionamiento: \approx 22 años
- Dimensiones: 4,00m altura, 2,60m ancho, 3,70m largo
- Tipo de circuito de agua de proceso: cerrado
- Intercambiador de calor: cortina de agua
- Sistema del intercambiador: bomba de agua
- Flujo de aire: tiro Inducido
- Tipo de llenado: boya mecánica
- Tensión de operación: 208 VAC / 60 Hz/ 3 Ph

Con el fin de determinar el consumo eléctrico de este equipo, por medio de mediciones realizadas en visita de campo al sitio, se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 1
Parámetros Eléctricos Torre de Enfriamiento Torre B

Tensión (V)		Corriente (A)		Demanda (kW)
L1-L2	213,59	L1	34,8	11,75
L1-L3	213,19			
L2-L3	213,14	L2	35,6	
L1-N	123,32			
L2-N	123,09	L3	35,7	
L3-N	123,06			

Nota. Medición realizada el 12 de febrero de 2025 con amperímetro digital FLUKE 376. FP=0,9.

Debido a la ausencia de datos de placa del equipo, para determinar la capacidad de transferencia de calor aproximada de la torre de enfriamiento, se realiza la sumatoria de las capacidades de los equipos dependientes de este sistema, donde:

$$Q_T = \sum q$$

Donde:

$Q_T =$ *Capacidad Térmica de la Torre de Enfriamiento*

$\sum q =$ *Sumatoria de cargas de equipos instalados*

$$\sum q = q_1 + q_2$$

$$q_1 = 24\,000 \text{ BTU/h} \cdot 5$$

$$q_2 = 60\,000 \text{ BTU/h} \cdot 24$$

$$Q_T = (24\,000 \text{ BTU/h} \cdot 5) + (60\,000 \text{ BTU/h} \cdot 24)$$

$$Q_T = 1,56 \times 10^6 \text{ BTU/h (130 TON)}$$

Figura 12

Placa de datos de la Torre de Enfriamiento



Nota. Como se puede apreciar, los datos de placa son ilegibles, por lo que se imposibilita conocer el modelo del equipo.

Esta torre de enfriamiento presenta obstrucción en las boquillas de salida del agua de enfriamiento, corrosión estructural, daño en las celdas del intercambiador de calor, y corrosión en el tanque de reposición; esto se aprecia en la Figura 13.

A febrero de 2025, esta torre de enfriamiento trabaja de manera constante durante la jornada laboral de 10 horas.

Figura 13*Estado de la Torre de Enfriamiento*

Nota. Se observa formación de algas e incrustación de sólidos en la estructura, aletas y tanque.

Al hacer una investigación en los catálogos disponibles en el sitio web de la compañía Baltimore Aircoil Company, fabricante de la torre de enfriamiento instalada, con el fin de encontrar el modelo actual con características similares en cuanto a tipo de funcionamiento, dimensiones, capacidad térmica aproximada y especificaciones estructurales, según lo indicado en el Apéndice G, se recomienda utilizar el modelo PFI-1012N-4D1DS-M1 con una capacidad de 134 TON, 340 gal (11 507,65 L) de agua en el intercambiador, y un peso de 19 670 lb (8922.16 kg).

El mantenimiento de esta torre ha estado a cargo de la empresa Saire S.A., el cual se realiza de manera trimestral por un monto de \$124.600,00 por visita (Apéndice I), lo que anualmente representa un pago de \$1.495.000,00.

Como parte del mantenimiento de este equipo, es necesario realizar el tratamiento químico del agua que circula por el intercambiador de calor, la cual, al estar al aire libre, se convierte en un punto en el que pueden proliferar organismos como algas y líquenes, además de la incrustación de sólidos en las aletas y partes metálicas, y la acumulación de sedimentos en la base del tanque de reposición; esto se puede apreciar en la Figura 13. Este tratamiento químico tiene una frecuencia variable, dependiendo de la dosificación de los productos químicos que se agreguen al agua. En enero de 2025, la Subárea Taller Electromecánico solicitó a la empresa VyP Asesores la cotización por el servicio mensual de tratamiento para la torre de enfriamiento de Torre B, la cual consta de la aplicación dos veces por semana de tabletas de Bromicide® (Bromocloro-5,5-Dimetilimidazolidina-2,4-Diona) y Biocida CT-430. Según consta en el Apéndice H, el monto mensual es de \$985.406,00.

Durante el periodo en el que la torre de enfriamiento ha estado en custodia de la Subárea Taller Electromecánico de la CCSS, el equipo ha presentado fallos tanto en la boya mecánica de llenado del tanque de reserva de agua (esta fue reparada con personal técnico propio), así como en la bomba de agua del intercambiador, a la cual se le realizó el cambio de rodamientos del motor y la bomba, lavado y barnizado de estator, cambio del sello mecánico, rectificación del impulsor, y cambio de empaques, por un monto de \$440 000,00, según cotización 0220-22 del 23 de marzo de 2022 por la empresa Saire S.A.

5.2.2 Sistema de Bombeo de Agua. La circulación de agua, desde la torre de enfriamiento hacia las unidades de aire acondicionado, para el intercambio de calor con los condensadores de los equipos autocontenidos, cuenta con un sistema conformado por dos bombas de acción redundante marca Bell & Gossett, con motor trifásico marca US Electrical Motor, potencia 15 HP (11,18 kW), flujo de 400 GPM, tensión 208-230 VAC/ 60Hz/ 3Ph. Estas bombas envían el agua a 50 psi (lb-pulg²) por medio de tuberías de hierro de 6" de diámetro, donde al interior del edificio se ramifican en tuberías de 1 ½" hacia las unidades autocontenidas, para retornar por medio de un arreglo igual hacia la torre de enfriamiento.

A febrero de 2025, este sistema de bombeo trabaja de manera constante con alternado manual de las bombas.

Figura 14

Sistema de Bombeo de agua para Torre de Enfriamiento Torre B



5.2.3 Equipos de aire acondicionado autocontenidos. Los equipos de aire acondicionado instalados en los pisos 1 al 5 del edificio Torre B son del tipo autocontenido con condensador enfriado por agua. Estos sistemas logran el intercambio de calor entre el aire de la zona por acondicionar y el evaporador por medio del refrigerante en estado líquido, en este caso R-22, que circula a través del serpentín, absorbiendo calor hasta evaporarse. En el condensador, el calor del proceso de condensación es liberado por medio del refrigerante R-22 en estado gaseoso hacia el agua que circula en un intercambiador de calor; esta agua proviene de y es enviada hacia la torre de enfriamiento descrita en el punto 5.2.1.

Los equipos instalados en el edificio Torre B se conforman por dos modelos descritos a continuación:

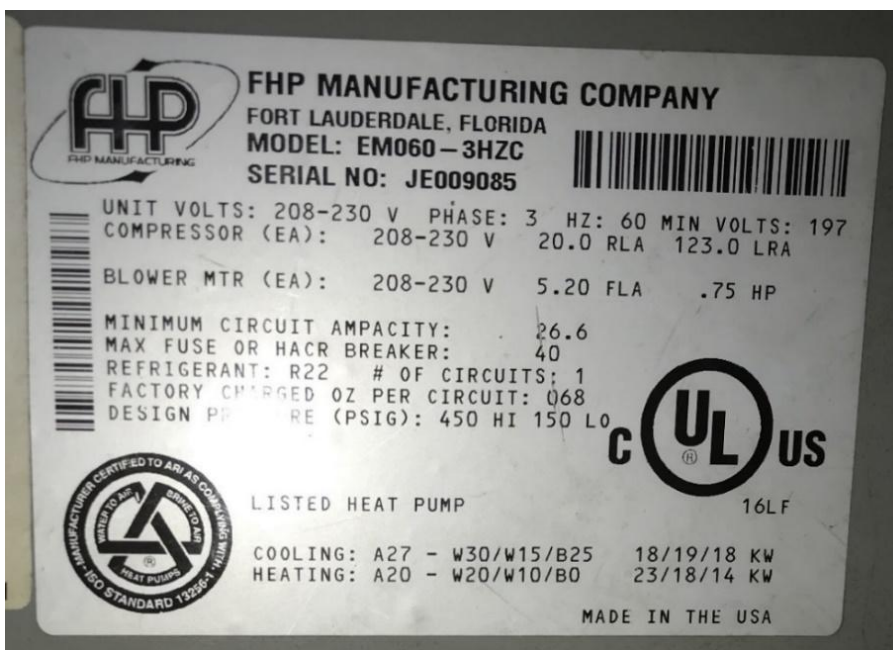
- Cinco equipos con capacidad de enfriamiento de 24 000 BTU/h (7,02 kW), marca Florida Heat Pump, modelo EM024-1HZC, R-22, 208-230 VAC/60Hz/3Ph. Actualmente están fuera de funcionamiento.
- Veinticuatro equipos con capacidad de enfriamiento de 60 000 BTU/h (17,55 kW), marca Florida Heat Pump, modelo EM060-3HZC, R-22, 208-230 VAC/60Hz/3Ph.

El mantenimiento de esta torre ha estado a cargo de la empresa Saire S.A., el cual se realiza de manera trimestral por un monto de ₡20.025,00 por visita por equipo para los modelos EM060-3HZC, y en el caso de los EM024-1HZC el costo es de ₡27.812,00 por visita por equipo (Apéndice I), lo que en total mensualmente representa el pago de ₡619.660,00 y anualmente un monto de ₡7.435.920,00.

Según se puede constatar en la placa de datos de los equipos de aire acondicionado autocontenidos en Torre B (Figura 15), basados en el número de serie, donde la primera letra representa el año de manufactura del equipo, siendo la letra J el año 2003 (McGarry y Madsen, 2018), estos equipos cuentan al 2025 con aproximadamente 22 años de manufactura y puesta en marcha.

Figura 15

Placa de equipos de aire acondicionado autocontenidos de Torre B



Nota. Los dígitos que les siguen a las dos primeras letras del modelo indican la capacidad térmica del equipo expresada en $\times 10^3$ BTU/h.

El historial de reparaciones realizadas a estos equipos desde noviembre de 2021 es amplio, a causa del deterioro por el tiempo de funcionamiento de los equipos (Figura 16), los cuales han recibido un mantenimiento comprobable por medio de los reportes de mantenimiento de la empresa Saire S.A. desde esa fecha. Es de suma importancia mencionar que, debido a que estos equipos trabajan con R-22, el precio de los repuestos como los compresores aumenta, ya que la disponibilidad baja conforme se avanza hacia la fecha de reducción prácticamente total de importación de este refrigerante en el 2035 (Figura 2). Entre las reparaciones más importantes, tanto en términos técnicos como económicos, a las unidades autocontenidas, en el 2024 se pueden mencionar los cambios de dos compresores que se detallan a continuación:

1. Unidad H-1-3 PISO 1:

- Cambio de Compresor de 57.000 BTU/h R-22 220VAC Copeland.
- Cambio de contactor 3 polos 35 A y bobina 24V.
- Monto: \$1.131.500,00.
- Cotización: 24-0086

2. Unidad H-3-2 PISO 3:

- Cambio de Compresor 60,000 BTU/h, R-22, Trifásico.
- Monto: \$1.325.285,71.
- Cotización: J0299-24

Figura 16

Deterioro de Evaporadores



Nota. Detalle del estado de las aletas de los serpentines de los evaporadores de las unidades autocontenidas de Torre B, lo cual dificulta la eficiencia en la transferencia de calor.

5.2.4 Distribución de aire. El sistema de distribución del aire está conformado por un arreglo de ductos construidos con lámina de fibra de vidrio recubierta con aluminio conectados a la salida de aire de los equipos descritos en 5.2.3, de los cuales el circuito se ramifica por medio de ductos flexibles de diámetros que varían entre 4" y 8", los cuales conducen el aire hasta rejillas de distribución de tres o cuatro vías con dámper incorporado. El retorno de aire se efectúa por medio de rejillas fijas conectadas a ductos flexibles de 10" que, a su vez, se insertan en un ducto principal acoplado a la sección de retorno del equipo autocontenido.

Figura 17

Ductos de Distribución de Aire



Nota. Detalle de la conexión de ducto y rejilla de suministro de aire acondicionado, piso 2, edificio Torre B.

Este sistema de aire acondicionado no cuenta con inyección de aire fresco ni manejadoras con intercambiadores de calor.

5.3 Vida útil de los equipos de aire acondicionado del Edificio Torre B

El Área Mantenimiento Infraestructura y Equipos Industriales (AMIEI), adscrita a la Dirección Mantenimiento Institucional de la CCSS, en el Catálogo de equipos industriales GIT-DMI-AMIEI-CT001 establece la vida útil de los equipos conforme a criterios profesionales y basados en el mantenimiento periódico recomendado; en este caso se realiza trimestralmente. Para los equipos del interés de este proyecto se muestra la ficha técnica en los puntos a continuación.

5.3.1 Torre de Enfriamiento. En la Tabla 2 se indica lo referente a la vida útil asignada en el Catálogo de equipos Industriales para las torres de enfriamiento, la cual corresponde a 15 años. Lo anterior indica que, ya que la torre de enfriamiento instalada actualmente cuenta con un aproximado de 22 años de funcionamiento, este equipo ha cumplido su vida útil y debe ser sustituido (GIT-DMI-GT001, 2021).

Tabla 2

Ficha Técnica Torre de Enfriamiento

Datos de la Ficha Técnica					
Complejidad	Vida Útil	Código SICOP		Código CGBS	Partida
		Clasificador	Identificador		
Alta	15 años	40101716	92329956	7-60-04-0135	2390
		Descripción			
	Nivel Usuario A, B, C	Equipo que tiene como función realizar un intercambio de calor en el que el aire se pone en contacto directo con el agua para reducir la temperatura.		Uso-Aplicación Aire Acondicionado y Refrigeración.	
	Unidad de Medida	<input type="checkbox"/> metro lineal <input type="checkbox"/> m ² <input type="checkbox"/> m ³ <input checked="" type="checkbox"/> unidad <input type="checkbox"/> global		Fecha de Actualización	
				Julio 2024	

Nota. Adaptado de “Catálogo de Equipos Industriales GIT-DMI-AMIEI-CT001”, p. 447.

5.3.2 Aire Acondicionado Autocontenido. En el Catálogo de equipos industriales, se encuentran descritos los equipos autocontenidos, como tipo central, siendo dos términos de un mismo concepto, ya que todos los elementos están en un solo gabinete. En la Tabla 3 se indica lo referente a la vida útil asignada a estos equipos, la cual corresponde a 10 años con un mantenimiento periódico, en este caso cada tres meses. Esto indica que, dado que los equipos autocontenidos del edificio Torre B tienen una vida de funcionamiento de aproximadamente 22 años, estos han cumplido su vida útil y deben ser sustituidos (GIT-DMI-GT001, 2021).

Tabla 3
Ficha Técnica Unidades Autocontenidas

Datos de la Ficha Técnica					
Complejidad	Vida Útil	Código SICOP		Código CGBS	Partida
		Clasificador	Identificador		
Mediana	10 años	40101701	92319059	7-45-01-0918	2390
Descripción					
Nivel Usuario T		Unidad central de aire acondicionado con elementos de un circuito de refrigeración conjuntado en un solo gabinete.		Uso-Aplicación Climatización de áreas administrativas y hospitalarias.	
Unidad de Medida		<input type="checkbox"/> metro lineal <input type="checkbox"/> m ² <input type="checkbox"/> m ³ <input checked="" type="checkbox"/> unidad <input type="checkbox"/> global		Fecha de Actualización	
				Julio 2024	

Nota. Adaptado de “Catálogo de Equipos Industriales GIT-DMI-AMIEI-CT001”, p. 23.

5.3.3 Sistema de Bombeo. El sistema de distribución de agua ha presentado daños en ambas bombas, siendo la más significativa la realizada en noviembre de 2021 según cotización N.º 0778-21, por la reparación y rebobinado de motor de bomba, cambio de rodamientos y rectificación del impulsor, por un monto de \$ 1.837.800,00.

En la Tabla 4 se puede ver lo referente a la vida útil asignada a las bombas de agua, la cual corresponde a 10 años. Dado que las bombas de agua del sistema de aire acondicionado del edificio Torre B tienen una vida de funcionamiento de aproximadamente 22 años, estas han cumplido su vida útil y deben ser sustituidas (GIT-DMI-GT001, 2021).

Tabla 4

Ficha Técnica de Bombas de Agua 11.18 kW

Datos de la Ficha Técnica					
Complejidad	Vida Útil	Código SICOP		Código CGBS	Partida
		Clasificador	Identificador		
Mediana	10 años	40151503	92389505	7-45-01-0511	2390
		Descripción			
	Nivel Usuario T	Máquina de tipo rotativa utilizada para hacer circular fluidos a presión a través de una tubería, en este caso agua potable.		Uso-Aplicación Trasiego de agua potable.	
	Unidad de Medida	<input type="checkbox"/> metro lineal <input type="checkbox"/> m ² <input type="checkbox"/> m ³ <input checked="" type="checkbox"/> unidad <input type="checkbox"/> global		Fecha de Actualización	
				Agosto 2023	

Nota. Adaptado de “Catálogo de Equipos Industriales GIT-DMI-AMIEI-CT001”, p. 66.

5.3.4 Distribución de Aire. El sistema de distribución de aire presenta daños en las juntas de los ductos, más precisamente en las inserciones de los ductos flexibles en el ducto principal, y en la unión del ducto principal con la descarga de aire de la máquina. Este sistema de distribución no cuenta con reguladores de flujo de aire eléctricos, sino solamente se puede regular directamente en las rejillas de distribución, o que produce ruido y condensación por la restricción abrupta del flujo de aire a baja temperatura.

Una de las problemáticas que se presenta, en cuanto a la distribución y control de temperatura, es que el edificio a nivel interno ha sufrido una serie de modificaciones en

la configuración interna, donde solamente se ha considerado el diseño de los espacios sin tomar en cuenta la distribución del aire, encontrando situaciones como la que se muestra en la Figura 18, donde hay controles de temperatura en pasillos o zonas distales al recinto al que se le está inyectando el aire. Debido a esta mala distribución del aire, varios usuarios, como la Dra. Giselle Guzmán Saborío, del Área de Control Epidemiológico, área ubicada en el piso 4, ala este del edificio Torre B, durante la visita de campo realizada para el presente proyecto, manifiesta que antes de la distribución espacial el área se sentía sumamente fría, y que a febrero de 2025 el aire acondicionado es prácticamente imperceptible.

Figura 18

Ubicación de Controles de Aire Acondicionado



Nota. El control de temperatura ubicado en el pasillo maneja la temperatura del recinto del otro lado de la pared, lo cual no permite tomar la temperatura interna.

La filtración del aire se efectúa en la entrada del aire de retorno que entra al equipo por medio de elementos lavables fabricados con fibra sintética, conocidos en el mercado costarricense como “pelo de chancho”, el cual, si bien logra filtrar elementos como cabellos, polvo, y otras partículas, no ofrece protección contra micropartículas y organismos que afectan la calidad del aire.

Al hacer un análisis de la condición a la fecha del presente proyecto, tanto de la torre de Enfriamiento como de los equipos autocontenidos de aire acondicionado del edificio Torre B, y considerando que, según lo expuesto y fundamentado en los puntos supra citados, tanto la torre de enfriamiento como los equipos autocontenidos han cumplido con su vida útil, se evidencia la necesidad de iniciar con el proceso de sustitución del sistema de aire acondicionado en su totalidad.

6. Cálculos para el Sistema de Aire Acondicionado por Implementar

Por medio del análisis de los requerimientos de acondicionamiento de los pisos 1 al 5 del edificio Torre B de la CCSS, y tomando en cuenta los principales factores para el diseño, se realiza la propuesta del sistema de aire acondicionado centralizado. En los puntos a continuación se hace el levantamiento de datos y se exponen las consideraciones para la propuesta.

6.1 Análisis Psicrométrico

Con el fin de realizar la climatización eficiente del interior del edificio Torre B, se lleva a cabo un análisis de las condiciones del inmueble, y se dan los parámetros deseados para lograr obtener los parámetros adecuados para el confort de los ocupantes conforme a las actividades que se realizan diariamente.

Tabla 5
Datos para análisis Psicrométrico Edificio Torre B

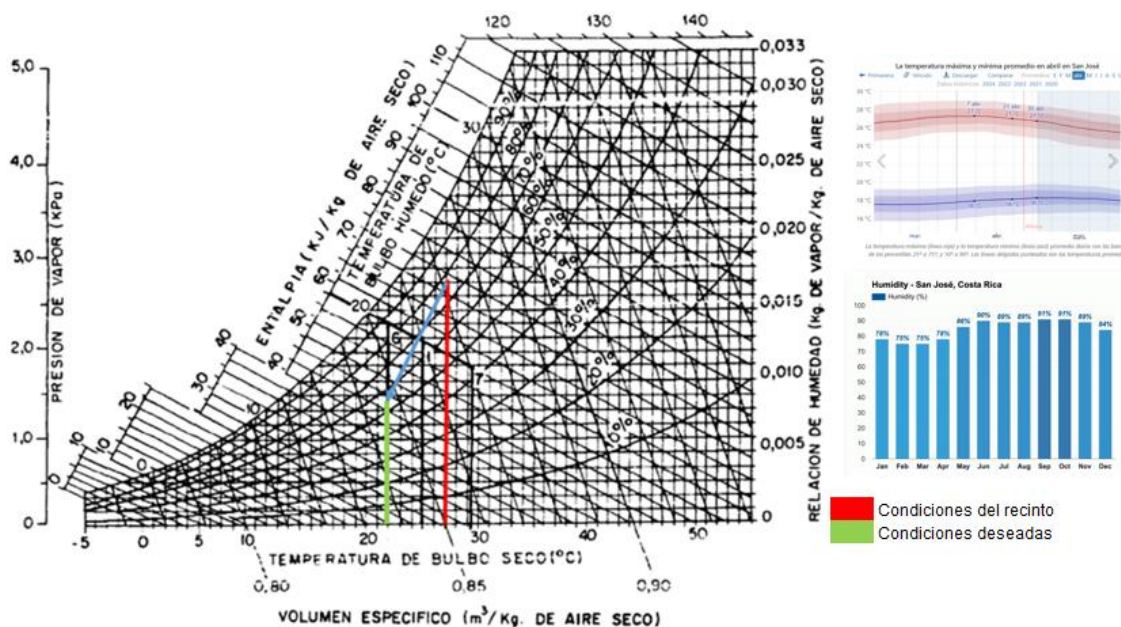
Ubicación	Avenida 8, Calle 24, San José, Costa Rica. Coordenadas 9.931590909866985, -84.09133384994921
Uso	Edificio para Oficinas Administrativas y Atención de Usuarios
Temporada de Diseño	Abril
Hora de Diseño	13:00:00
Temperatura Ambiente Promedio	27 °C
Humedad Relativa Promedio	78%
Temperatura Interna Deseada	22 °C
Humedad Relativa Deseada	55%

Nota. Se elige abril, ya que es el mes con las temperaturas más elevadas en Costa Rica para el año 2024. (<https://es.weatherspark.com/m/15463/4/Tiempo-promedio-en-abril-en-San-Jos%C3%A9-Costa-Rica>)

En la Figura 19 se encuentran indicadas las líneas con las condiciones ambientales del edificio para el mes de abril, así como el punto deseado con la implementación del sistema de aire acondicionado. Es importante destacar que el objetivo es lograr condiciones adecuadas de temperatura y humedad relativa, y no solamente tener una temperatura más baja en el espacio, por lo que se puede determinar que el proceso que se requiere es de extracción de calor y deshumidificación.

Figura 19

Psicrometría Edificio Torre B



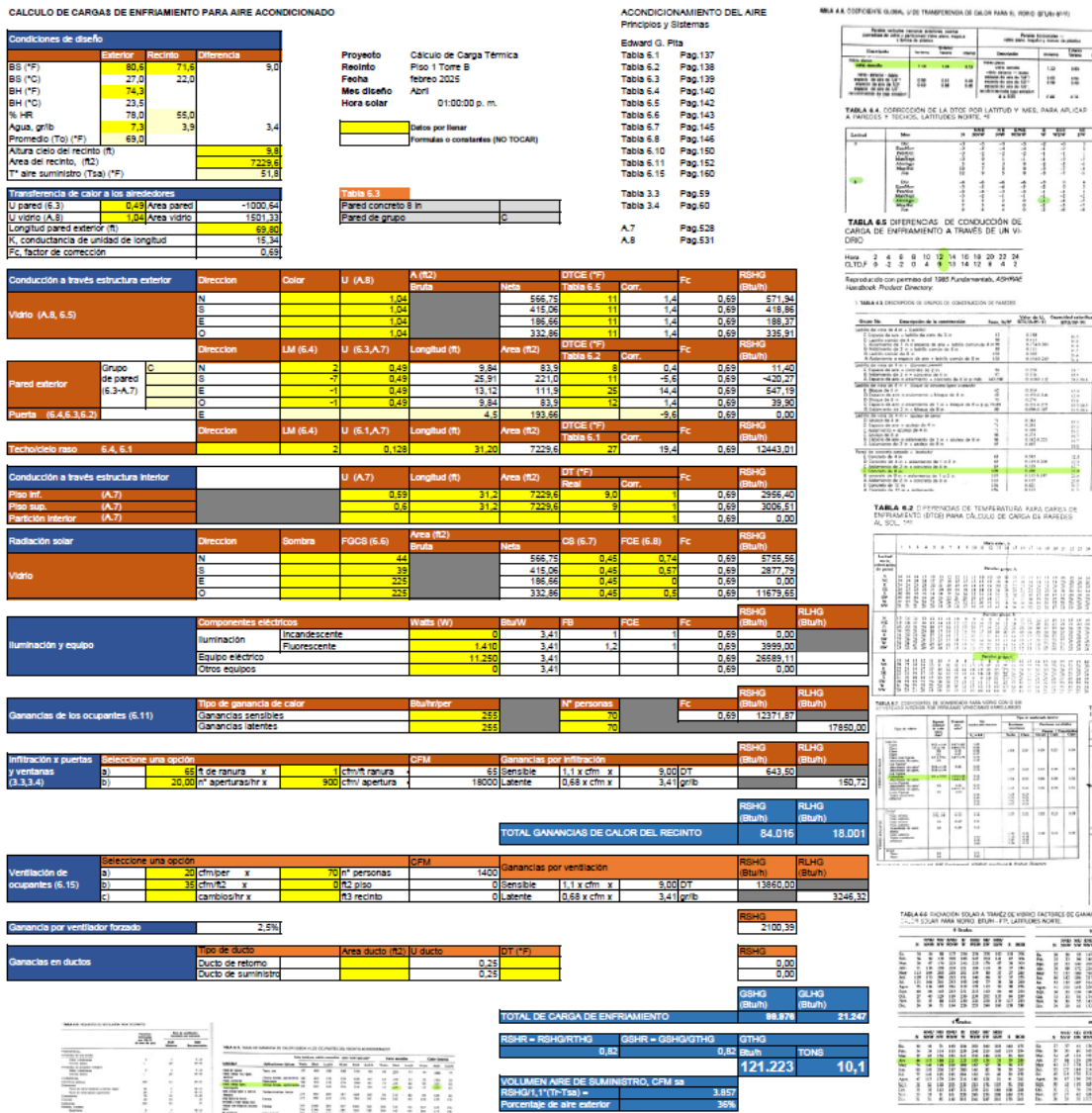
6.2 Cálculo de Carga Térmica

Una de las ventajas de la centralización de los sistemas de aire acondicionado es que es posible realizar el cálculo de la carga térmica, que debe extraer un equipo, tratando los recintos individuales como una zona integral, ya que la distribución del aire acondicionado se realiza por medio de ductos y rejillas de suministro y retorno que se pueden ubicar en espacios cerrados.

Para el cálculo de carga térmica de los pisos 1 al 5 del edificio Torre B, se analiza cada uno de los pisos como zonas integrales, tomando en cuenta factores propios como ocupación, iluminación, y equipamiento en particular. El cálculo se realiza por medio de la herramienta de cálculo desarrollada por el Ing. Ignacio Del Valle Granados, del Tecnológico de Costa Rica, con actualizaciones del Ing. Oscar Meza Guzmán, profesor de la Universidad Central de Costa Rica (Figura 20). Las fórmulas y tablas con los datos

y parámetros utilizados para los cálculos y factores de corrección de carga térmica se extraen del libro “Acondicionamiento de aire, principios y sistemas”, de Pita (2002), basado en el Manual para equipos y sistemas de calefacción, ventilación, y aire acondicionado de ASHRAE, y se pueden encontrar en la sección de Apéndices de este trabajo. Se utiliza el sistema de medición inglés, en el que la capacidad de transferencia de calor se da en BTU/h (unidad térmica británica por hora), o en Tonelada de Refrigeración (TR) equivalente a 12 000 BTU/h o 3,51 kW.

Figura 20
Herramienta de Cálculo de Carga Térmica



6.2.1 Piso 1. En el Piso 1 del edificio Torre B, también identificado como Piso principal, se encuentran áreas tanto de atención al público como oficinas administrativas. Se realiza el cálculo de la carga térmica tomando en cuenta la ocupación total de las

estaciones de trabajo y de la capacidad de público en la Plataforma de cajas. Los resultados se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6
Carga Térmica Piso 1 Torre B

Temporada de diseño	Abril 2024			
Hora	13:00			
Temperatura máxima promedio	27 °C			
Temperatura deseada	22 °C			
HR máxima promedio	78%			
HR deseada	55%			
Área Total	672 m ²			
Iluminación	Lámpara	Cant.	W	Total W
	LED	30	47	1410
Equipo Eléctrico		Cant.	W	Total W
	Laptop	46	250	11500
	Impresora	6	500	750
Personas	75	Trabajo de Oficina	255	C _s (BTU/h)
			325	C _L (BTU/h)
VOLUMEN AIRE DE SUMINISTRO, CFM sa				
$RSHG/1,1*(Tr-Tsa) = 3796,27$				
Porcentaje de aire exterior= 40%				
Resultado	GSHG	GLHG		
	(Btu/h)	(Btu/h)		
	99603,40	26378,92		
	GTHG			
	Btu/h	TR		
	125.982	10,50		
Capacidad Comercial		11	TR	

6.2.2 Piso 2. El piso 2 del edificio Torre B está conformado por áreas de oficinas administrativas, tiene la particularidad de que está rodeado por ventanas, lo cual influye

directamente en el aumento de la carga térmica. Se realiza el cálculo tomando en cuenta la ocupación total de las estaciones de trabajo, de los equipos de cómputo, e iluminación.

Los resultados se muestran en la Tabla 7 a continuación:

Tabla 7
Carga Térmica Piso 2 Torre B

Temporada de diseño	Abril 2024			
Hora	13:00			
Temperatura máxima promedio	27 °C			
Temperatura deseada	22 °C			
HR máxima promedio	78%			
HR deseada	55%			
Área Total	693 m ²			
Iluminación	Lámpara LED	Cant.	W	Total W
		32	47	1504
Equipo Eléctrico	Laptop	Cant.	W	Total W
		76	250	19000
	Impresora	6	500	750
Personas	85	Trabajo de Oficina		255 Cs(BTU/h)
				325 CL(BTU/h)
VOLUMEN AIRE DE SUMINISTRO, CFM sa				
$RSHG/1,1*(Tr-Tsa) = 3924,00$				
Porcentaje de aire exterior= 43%				
GSHG GLHG				
(Btu/h) (Btu/h)				
Resultado	104427,82		31643,02	
GTHG				
Btu/h TR				
136.071 11,34				
Capacidad Comercial			12	TR

6.2.3 Piso 3. El piso 3 del edificio Torre B, con características similares al piso 2, está conformado por áreas de oficinas administrativas de tipo co-working, rodeado por ventanas, lo cual influye directamente en el aumento de la carga térmica. Se realiza el cálculo tomando en cuenta la ocupación total de las estaciones de trabajo, de los equipos de cómputo, e iluminación. Los resultados se muestran en la Tabla 8 a continuación:

Tabla 8
Carga Térmica Piso 3 Torre B

Temporada de diseño	Abril 2024			
Hora	13:00			
Temperatura máxima promedio	27 °C			
Temperatura deseada	22 °C			
HR máxima promedio	78%			
HR deseada	55%			
Área Total	693 m ²			
Iluminación	Lámpara LED	Cant.	W	Total W
		32	47	1504
Equipo Eléctrico		Cant.	W	Total W
	Laptop	85	250	21250
	Impresora	7	500	875
Personas	85	Trabajo de Oficina	255	C _s (BTU/h)
			325	C _L (BTU/h)
VOLUMEN AIRE DE SUMINISTRO, CFM sa				
$RSHG/1,1*(Tr-Tsa) = 4187,46$				
Porcentaje de aire exterior= 45%				
GSHG GLHG				
(Btu/h) (Btu/h)				
112296,57 35356,78				
GTHG				
Btu/h TR				
147.653 12,30				
Capacidad Comercial			13	TR

6.2.4 Piso 4. El piso 4 del edificio Torre B está conformado por áreas de oficinas administrativas y salas de reunión. Igual que los pisos anteriores, está rodeado por ventanas, lo cual influye directamente en el aumento de la carga térmica. Se realiza el cálculo tomando en cuenta la ocupación total de las estaciones de trabajo, de los equipos de cómputo, e iluminación. En la Tabla 9 se muestran los resultados del cálculo de carga.

Tabla 9
Carga Térmica Piso 4 Torre B

Temporada de diseño	Abril 2024			
Hora	13:00			
Temperatura máxima promedio	27 °C			
Temperatura deseada	22 °C			
HR máxima promedio	78%			
HR deseada	55%			
Área Total	693 m ²			
Iluminación	Lámpara LED	Cant.	W	Total W
		32	47	1504
Equipo Eléctrico		Cant.	W	Total W
	Laptop	85	250	21250
	Impresora	6	500	750
Personas	92	Trabajo de Oficina	255	C _s (BTU/h)
			325	C _L (BTU/h)
VOLUMEN AIRE DE SUMINISTRO, CFM sa				
$RSHG/1,1*(Tr-Tsa) = 4145,32$				
Porcentaje de aire exterior= 43%				
GSHG GLHG				
(Btu/h) (Btu/h)				
111043,81 34242,65				
GTHG				
Btu/h TR				
145.286 12,11				
Capacidad Comercial			13	TR

6.2.5 Piso 5. El piso 5 del edificio Torre B está conformado por áreas de oficinas administrativas en el ala oeste y un comedor en el ala este, por lo que se analizarán ambos por separado. El ala oeste está rodeada por ventanas, y pared de tablero de yeso al lado este. Se realiza el cálculo tomando en cuenta la ocupación total de las estaciones de trabajo, equipos de cómputo, e iluminación. En la Tabla 10 se muestran los resultados.

Tabla 10
Carga Térmica Piso 5 Torre B

Temporada de diseño	Abril 2024			
Hora	13:00			
Temperatura máxima promedio	27 °C			
Temperatura deseada	22 °C			
HR máxima promedio	78%			
HR deseada	55%			
Área Total	321 m ²			
Iluminación	Lámpara LED	Cant.	W	Total W
		17	47	799
Equipo Eléctrico		Cant.	W	Total W
	Laptop	40	250	10000
	Impresora	2	500	250
Personas	47	Trabajo de Oficina		255 Cs(BTU/h)
				325 CL(BTU/h)
VOLUMEN AIRE DE SUMINISTRO, CFM sa				
$RSHG/1,1*(Tr-Tsa) = 3200,34$				
Porcentaje de aire exterior= 29%				
GSHG GLHG				
(Btu/h) (Btu/h)				
80755,55 17530,73				
GTHG				
Btu/h TR				
98.286 8,19				
Capacidad Comercial			9	TR

6.2.6 Piso 5 Comedor. En este punto se realiza la carga térmica del área de comedor, ubicado en el ala este del piso 5 del edificio Torre B. El ala este está rodeada por ventanas, y pared de tablero de yeso al lado oeste. Se realiza el cálculo tomando en cuenta el tipo de actividad (comedor), la ocupación total de las mesas, equipos de refrigeración, microondas, e iluminación. En la Tabla 11 se muestran los resultados.

Tabla 11
Carga Térmica Comedor Piso 5 Torre B

Temporada de diseño	Abril 2024			
Hora	13:00			
Temperatura máxima promedio	27 °C			
Temperatura deseada	22 °C			
HR máxima promedio	78%			
HR deseada	55%			
Área Total	304,5 m ²			
Iluminación	Lámpara LED	Cant.	W	Total W
		14	47	658
Equipo Eléctrico		Cant.	W	Total W
	Refrigerador	5	550	2750
	Microondas	6	1000	3000
Personas	166	Restaurante	315	C _s (BTU/h)
			325	C _L (BTU/h)
VOLUMEN AIRE DE SUMINISTRO, CFM sa				
$RSHG/1,1*(Tr-Tsa) = 3168,54$				
Porcentaje de aire exterior= 76%				
GSHG GLHG				
(Btu/h) (Btu/h)				
94498,71 57620,77				
GTHG				
Btu/h TR				
152.119 12,68				
Capacidad Comercial			13	TR

6.3 Resultado del Cálculo de Carga Térmica

Una vez realizado el cálculo de carga térmica de los pisos 1 al 5 del edificio Torre B, tomando cada uno como zonas integrales, y considerando los factores del tipo de ocupación y elementos que suman calor latente y sensible a cada recinto, se obtiene que la carga térmica general es de 805 397 BTU/h o 67,11 TR (235,55 kW).

Para efecto de la selección y distribución de los equipos de aire acondicionado, se debe considerar cada piso por separado. Por temas comerciales, dado que el mercado ofrece las unidades en múltiplos de 12 000 BTU/h o Toneladas de Refrigeración (TR), es necesario indicar la capacidad en TR, por lo que en caso de haber decimales se elige el número mayor siguiente. Al tener lo anterior en consideración, la carga térmica requerida es de 71 TR (249,21 kW).

7. Sistema de Aire Acondicionado Propuesto

La propuesta planteada en esta investigación consiste en el diseño teórico de un sistema aire acondicionado centralizado, por medio de agua a baja temperatura como refrigerante secundario suministrada por un chiller con tecnología de compresores magnéticos, que suministre este refrigerante secundario a las unidades manejadoras de aire hidrónicas instaladas entre el cielorraso y la losa superior de cada uno de los pisos del 1 al 5 del edificio Torre B de la CCSS. La distribución del aire con las condiciones deseadas de temperatura y humedad se realizará por medio de ductos y rejillas. Los rangos deseados de temperatura y flujo de aire estarán manejados por controles termostáticos de pared y controladores de flujo electrónicos en los ductos.

Una vez realizado el cálculo de carga térmica, se determina que se requiere de un sistema de aire acondicionado con una capacidad térmica de 71 toneladas de

refrigeración (249,21 kW) para los pisos seleccionados. Dado que uno de los propósitos de este proyecto es centralizar el sistema de aire acondicionado, considerando las cargas térmicas futuras de calor sensible y calor latente, se estima conveniente incluir los pisos 6 al 8 del edificio Torre B en el análisis para la selección de la capacidad del chiller. Para esto se promedia la carga térmica de los pisos 2, 3 y 4, los cuales tienen características y carga térmica similares entre sí (12,67 TR), agregando los tres pisos del 6 al 8, da como resultado un incremento del 54%, lo que representa 109 toneladas de refrigeración (421,2 kW); ello se muestra en la Tabla 12.

Tabla 12
Carga Térmica para Selección del Chiller

Piso	Carga Térmica (TON)	Promedio de Carga Térmica (TON)	Carga Térmica Pisos 6 al 8 (TON)	% Con respecto a Carga Térmica 1 al 5 (TON)	Carga Térmica Chiller (TON)
Piso 2	12				
Piso 3	13	12,67	38,00	54	109
Piso 4	13				

Además de la capacidad térmica del chiller, se deben tomar en cuenta factores como la alimentación eléctrica, las dimensiones y el peso, ya que, por tratarse de un proyecto en el que se sustituye un sistema obsoleto, es necesario tomar en cuenta que las características del equipo nuevo no excedan las del anterior; caso contrario, es necesario realizar estudios de carga eléctrica o análisis estructurales del área en la que se va a instalar.

7.1 Selección del Chiller

Dentro de las características requeridas para la selección del equipo de enfriamiento de agua están las siguientes:

1. Sistema de enfriamiento con refrigerante secundario (agua).
2. Capacidad térmica mayor a 109 toneladas de refrigeración (421,2 kW).
3. Compresor centrífugo con tecnología de cojinetes magnéticos.
4. Enfriamiento del condensador por medio de aire de tiro inducido.
5. Refrigerante con bajo potencial de calentamiento global.
6. Peso menor o igual a la de la torre de enfriamiento Baltimore, modelo PFI-1012N-4D1DS-M1.


Se realizó la solicitud a la empresa Clima Ideal, representante de la marca Carrier, para obtener información sobre los chillers enfriados por aire de esta marca. Al no obtener respuesta por parte de Servicio al cliente, se hizo la búsqueda en el sitio en internet de Carrier Latinoamérica, donde se encontró que los modelos AQUASNAP® - 30RAP y AQUAFORCE® - 30XA cumplen con el tipo de enfriamiento por aire y ofrecen el rango de capacidad térmica; sin embargo, los compresores utilizados en los chillers de marca Carrier son de tipo scroll, que tienen un IPLV de 17.9, lo cual es menor al de los chillers con compresores magnéticos (aprox. 20.21 -25.72). Además, los tipos de compresor no son objeto de estudio del presente proyecto.

Dentro de las marcas que ofrecen chillers con compresores magnéticos se encuentra LG, donde los modelos LeviTech® cuentan con este tipo de compresores en chillers enfriados por agua de distintas capacidades. En este caso se descarta este modelo de equipos, debido a que se requiere de la selección e instalación de una torre

de enfriamiento, lo cual implica la carga eléctrica adicional, además del mantenimiento y tratamiento químico del agua.

Se hizo la solicitud de información al Ing. David Jiménez Sánchez, Gerente de Cuenta para Latinoamérica de la marca Trane, quien proporcionó la información del chiller enfriado por aire con compresores de cojinetes magnéticos de velocidad variable modelo TCAA110AT. Al hacer la revisión de los datos técnicos en cuanto a capacidad, funcionamiento, dimensiones y voltaje de operación, se selecciona este modelo como propuesta para la implementación en el edificio Torre B. En la Tabla 13 y en el Apéndice J se muestran las características de este equipo.

Tabla 13
Características del Chiller Trane TCAA110AT

Marca	Trane	
Modelo	TCAA110AT	
Capacidad	80-120 TR	
Compresor	Centrífugo -Magnético	
Enfriamiento	Aire	
Tensión de Operación	208-230 VAC 3Ph	
Peso de trabajo	10600 lb	
Refrigerante	R513A (Reemplaza 134 A)	
Dimensiones	l 175"	
	a 88"	
	h 106"	

El tipo de compresor utilizado en el chiller TCAA110AT es del modelo Turbocor® de Danfoss. Estos compresores utilizan tecnología de cojinetes magnéticos sin aceite, lo que permite una elevada eficiencia, bajos niveles de ruido, y disminuye el desgaste de

los elementos móviles del compresor. Los motores de imanes permanentes y los variadores de velocidad proporcionan una alta eficiencia con carga completa y parcial.

Entre las prestaciones que ofrece el modelo TCAA11AT está que cuenta con un controlador inteligente MCX Danfoss-Schneider, con pantalla táctil y conexión Ethernet compatible con sistemas de manejo de edificios BMS (Building Management System), lo que permite un monitoreo y control centralizado y remoto.

El Valor integrado de carga parcial (IPVL) indica la eficiencia de un equipo en condiciones controladas y predeterminadas por AHRI, e indica la demanda de energía en W por cada unidad térmica en BTU/h. Según los datos técnicos (Apéndice J), los equipos TCAA tienen un IPVL de 20.21. Al tomar en cuenta que el modelo TCAA110AT tiene una capacidad máxima de 120 TR o 144 000 BTU/h, significa que se tiene una demanda de 7125,18 W o 7,125 kW.

Para el Índice de eficiencia energética (EER) que prueba la eficiencia de los equipos dependiendo de las condiciones de trabajo, e indica la demanda de energía en kW por cada unidad térmica en toneladas de refrigeración, de acuerdo con los datos técnicos (Apéndice J), los equipos TCAA tienen un EER de entre 10.51 y 20.21. Al tomar en cuenta un valor mínimo de 10.51 para el modelo TCAA110AT con capacidad máxima de 120 TR, significa que hay una demanda de 11,41 kW.

Para efectos del presente proyecto, dado que las condiciones de trabajo son variables, se utilizará el EER de 10.51, lo que representa una demanda de energía de 11,41 kW para el Chiller Trane TCAA110AT.

En cuanto al peso del equipo, dado que el peso del chiller de 10 600 lb (4 808,1 kg) es menor al de la torre de enfriamiento instalada, de aproximadamente 19 670 lb (8 922,16 kg), su instalación en la base de concreto actual de la torre de enfriamiento es viable.

7.2 Selección de las Unidades Manejadoras de Aire

Para la selección de las manejadoras de aire de tipo hidrónico de cada uno de los pisos del 1 al 5 del edificio Torre B, se toman en cuenta tanto la capacidad de enfriamiento de la zona integral como el volumen de aire requerido y el control de la humedad. Actualmente, se encuentran instaladas seis unidades de aire acondicionado autocontenidas en cada piso, a excepción del piso 3, donde hay cinco equipos instalados, por lo que, según la distribución de los espacios y el cálculo de la carga térmica de las seis zonas por climatizar, se hace la selección de Unidades manejadoras de aire de 36 000 BTU/h (10,53 kW) distribuidas de la siguiente manera:

- Piso 1: 11 toneladas de refrigeración, 4 unidades.
- Piso 2: 12 toneladas de refrigeración, 4 unidades.
- Piso 3: 13 toneladas de refrigeración, 5 unidades.
- Piso 4: 13 toneladas de refrigeración, 5 unidades.
- Piso 5: 09 toneladas de refrigeración, 3 unidades.
- Piso 5 Comedor: 13 toneladas de refrigeración, 5 unidades.

El total de las Unidades manejadoras de aire requeridas es de 26. Para el flujo de aire, se considera el caudal de aire promedio por piso equivalente a 4 484,23 CFM (pies cúbicos por minuto), lo que representa un caudal de aire por máquina de entre 896,84

CFM y 1494,74 CFM para las zonas donde se requieren tres y cinco unidades respectivamente.

Entre los aspectos importantes, a la hora de la selección de los equipos, está la compatibilidad entre los diferentes elementos del sistema, lo que permite un correcto funcionamiento tanto en la parte mecánica y eléctrica como en la comunicación de monitoreo y control. Al tomar esto en consideración, se realiza la búsqueda de Unidades manejadoras de aire de la marca Trane, la cual es seleccionada para el tipo de chiller por instalar.

Por medio de la revisión de especificaciones técnicas de las Unidades manejadoras de aire de la marca Trane, se selecciona el modelo UCCA tamaño 3, el cual cuenta con las características descritas en la Tabla 14 y en el Apéndice K. Es importante mencionar que el espacio de instalación entre el cielorraso y la losa superior es de 1m (39,5") por lo que es posible su instalación.

Tabla 14
Características de Unidad Manejadora de Aire Trane UCCA 3

Marca	Trane
Modelo	UCCA 3
Capacidad (BTU/h)	36 000
Flujo de Aire	1500 CFM
Instalación	Horizontal
Enfriamiento	Aire
Voltaje de Operación	208-480 VAC 3Ph
Demanda Eléctrica máx (resistencia)	4,16 kW
Entrada-Salida de agua	1/2"
Peso Húmedo	1280 lb
Salida de Ductos	10"
Dimensiones	l 51,94"
	a 34"
	h 31,8"



Las unidades UCCA 3 cuentan con sistema de deshumidificación por medio de resistencia eléctrica, y humidificación con entrada de aire fresco y atomizador, por lo que es posible lograr con ellas la humedad relativa deseada del 55%. Para el sistema de calidad de aire cuentan con filtros de aire de 2" tipo MERV 8 (comparable con MPR 600 y FPR 7) removibles para recambio o lavado según el tipo, así como lámparas UV para evitar la proliferación de bacterias. La denominación MERV se refiere a una escala de filtración 1 a 16, donde 16 tiene mayor capacidad de retención de partículas. Según NFPA 90A 4.2.2.2, los filtros de aire deben ser listados UL 900 o UL 586 donde sea aplicable.

Estas unidades manejadoras de aire tienen la opción de adicionarles una rueda de intercambio de calor entre el aire de retorno y el aire exterior, para el aprovechamiento de la energía.

7.3 Sistema de Distribución de Aire

La distribución correcta del aire es necesaria, para lograr el intercambio eficiente de calor de las cargas del recinto con las del aire tratado a temperatura y humedad controlada.

Con el aprovechamiento del espacio de entre el cielorraso y la losa de cada nivel del edificio, y una vez eliminado el sistema de distribución anterior, se recomienda la instalación de ductos principales en aislante de poliuretano expandido rígido revestido en ambos lados con láminas de aluminio (tipo P3), lo que permite un menor desprendimiento de partículas y mayor facilidad de limpieza con respecto a la lámina de fibra de vidrio, esto para el ducto de entrada de aire exterior, para el suministro de aire acondicionado, y para el retorno de aire de los recintos. La entrada de aire exterior debe cumplir con lo dispuesto en el capítulo 4.2.1 de la NFPA 90^a, para evitar la entrada de humo.

Para los ductos ramales, se propone la instalación en tipo flexible para mayor facilidad de reubicación y mantenimiento, terminando en rejillas de distribución de acero inoxidable esmaltadas, como el ejemplo de la Figura 21. Todos los materiales de los ductos deben cumplir con lo dispuesto en el capítulo 6.1 de la NFPA 90A, y siguiendo las normas de seguridad del standard ASHRAE 15.

Figura 21*Distribución de Aire con Ductos Fijos y Flexibles*

Nota. Adaptado de “What is a single-duct system?”, por Price Industries (2024). (<https://blog.priceindustries.com/what-is-a-single-duct-system>)

En zonas como las del edificio Torre B, donde existe una distribución de áreas de trabajo tipo cubículos con paredes a 1,6 m de altura, así como oficinas y salas de reunión con paredes completas hasta el nivel de cielorraso, se requiere de distribuidores que sean controlados remotamente a lo interno del recinto, por medio de dispositivos que determinen la temperatura y el flujo de aire deseados.

Estos distribuidores pueden ser para ducto único o doble, como se muestra en la Figura 22, los cuales se instalan en los ductos provenientes de la salida de aire de la unidad manejadora, y son controlados por dispositivos de pared o centralizados.

Figura 22

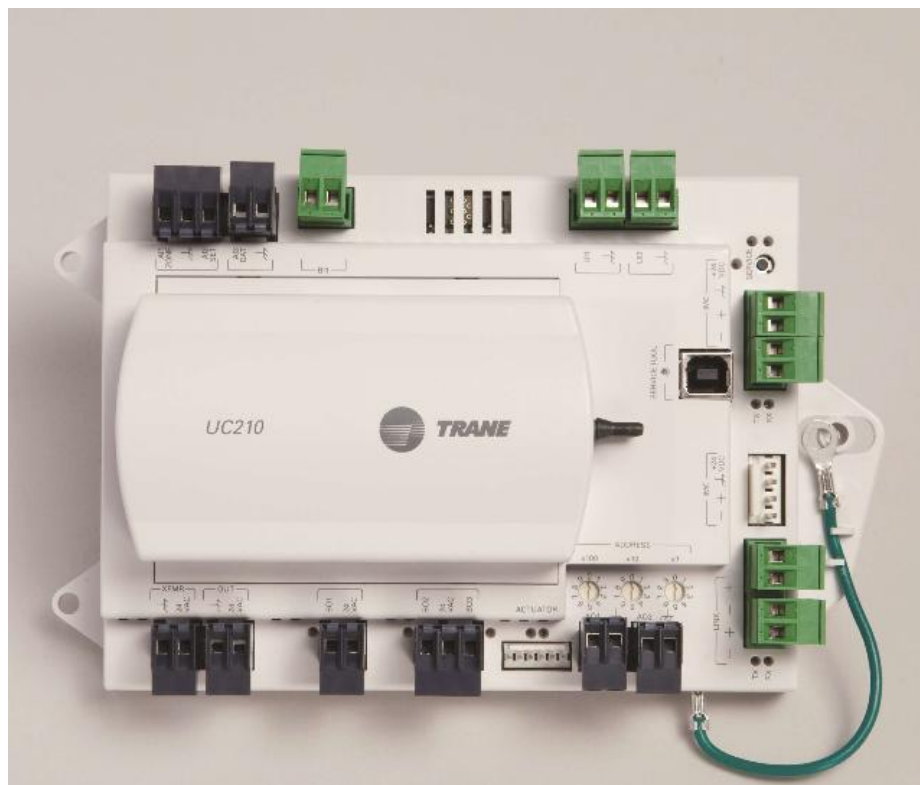
Distribuidores para Ductos de Aire Acondicionado



Nota. Distribuidor de doble conducto VariTrane™. Adaptado de “VariTrane™ conducto doble”, por Trane (2025). (<https://www.trane.com/commercial/latin-america/ve/es/products-systems/packaged-units-and-split-systems/variable-air-volume/dual-duct.html>)

7.4 Sistema de Control Centralizado

El sistema de control centralizado de las UCCA se realiza por medio del controlador Tracer™ UC210 Programmable VAV Controller, que se muestra en la Figura 23, el cual es compatible con sistemas BMS mediante comunicación BACnet a través de Ethernet. Por medio de este dispositivo se pueden monitorear y controlar los parámetros de humedad relativa, flujo de aire, ocupación y temperatura de hasta 14 equipos (Apéndice L).

Figura 23*Controlador Trane Tracer™ UC210*

Nota. Adaptado de “Controladores de climatización”, por Trane (2025). (<https://www.trane.com/commercial/latin-america/pe/es/products-systems/building-management---automation/air-handler-controllers.html>)

En cuanto al sistema de manejo de edificios BMS, al tener en cuenta que tanto el controlador del chiller MCX (Danfoss-Schneider), como el Tracer™ UC210 (Trane-Ingersoll Rand) de las manejadoras cuentan con compatibilidad de fabricantes con posibilidad de conexión Ethernet para formar redes locales, y que funcionan con el protocolo de comunicación de programación BACnet (Building Automation and Control Networks), es posible la implementación, en el edificio Torre B, de un sistema BMS

EcoStruxure™ de Schneider, el cual se encuentra implementado en el edificio Laureano Echandi de la CCSS y se muestra en la Figura 24.

Figura 24

BMS Schneider Edificio Laureano Echandi CCSS



Nota. Este sistema permite monitoreo y control centralizado, en tiempo real, por zonas y equipos específicos instalados en el edificio y conectados a la red.

7.5 Instalación y Disponibilidad Eléctrica

El Edificio Torre B cuenta con un sistema eléctrico de tres fases (3Ph) con una tensión de línea de 213,3 VAC y tensión de fase de 123,15 VAC; en cada uno de los

niveles del inmueble existe un centro de carga con las características descritas en la Tabla 15, exclusivo para las cargas de los equipos de aire acondicionado.

Tabla 15

Centro de Carga para Equipos de Aire Acondicionado Torre B

Tableros AC Torre B	
Marca	Cutler- Hammer
Modelo	PB304CC225
Corriente	225 A
Disyuntor Principal	200 A
Fases	3
Tensión	120/240 VAC
Hilos	4
Alimentadores	2 x 2/0 AWG
Capacidad	30 Espacios
Tipo	Parche

En el ducto eléctrico del nivel 8 se encuentra el centro de carga que alimenta la torre de enfriamiento ubicada en el nivel de la azotea. Este centro de carga Eaton-CH con capacidad de 400 A y disyuntor principal de 300 A cuenta con 42 espacios, de los cuales 12 se encuentran disponibles; sin embargo, al darse la desinstalación de los equipos existentes, se libera la totalidad de los espacios en las barras. En el nivel de azotea a 2m de la torre de enfriamiento se encuentra el panel de alimentación de este equipo con conductores de calibre 2 AWG, por lo que se puede medir y evaluar el estado de los cables para la conexión de un nuevo panel de alimentación eléctrica.

El sistema de aire acondicionado con unidades autocontenidas y la torre del enfriamiento deben ser desinstalados, para poder instalar los equipos propuestos. Al tener esto en consideración, y debido a que el consumo eléctrico y la cantidad de equipos

propuestos es menor, es posible utilizar los espacios en los centros de carga ubicados en los ductos de cada uno de los pisos objeto de este estudio, los cuales están designados para el sistema de aire acondicionado del inmueble.

Para la instalación eléctrica de potencia, tanto para las unidades manejadoras de aire como para el chiller, se debe seguir lo dispuesto en el Código Eléctrico Nacional, basado en la Norma NFPA 70 versión 2017, principalmente lo indicado en el artículo 440 “*Equipos de aire acondicionado y de refrigeración*”.

Entre los requerimientos para la instalación eléctrica, en los artículos 440.11 y 440.14 del NEC (NFPA 70), se debe considerar que cada una de las unidades manejadoras de aire requiere de un medio de desconexión eléctrica al alcance de la vista y de fácil acceso para el servicio de mantenimiento preventivo y correctivo.

7.6 Consideraciones Económicas

En el planteamiento de un proyecto, se consideran los aspectos de Ingeniería para tener un conocimiento profesional del alcance del proyecto y las especificaciones necesarias para llevarlo a cabo. Uno de los elementos que se deben tener en cuenta, al realizar la propuesta de implementación, es el de las implicaciones económicas que conlleva, tanto en la inversión económica como el consumo eléctrico.

7.6.1 Costo del Consumo Eléctrico. Para el cálculo del costo por el consumo eléctrico tanto de los equipos instalados como los propuestos, primeramente, se estima el costo promedio del kW·h realizando la sumatoria del monto de la facturación entre el importe mensual basado en el histórico del marzo 2024 a febrero 2025 de la Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL), para el NISE 27940662 perteneciente al edificio Torre

B, lo cual se expone en la Tabla 16, dando como resultado ₡124,85 en promedio por kW·h.

Tabla 16

Histórico de Consumo y Facturación Eléctrica Edificio Torre B

Mes / Año	Consumo kW·h	Monto (₡)	Costo kW·h
feb-25	52400	₡6.056.455,00	₡115,58
ene-25	46000	₡5.591.150,00	₡121,55
dic-24	49600	₡6.236.150,00	₡125,73
nov-24	54400	₡6.996.795,00	₡128,62
oct-24	54800	₡7.111.530,00	₡129,77
sep-24	53200	₡6.991.355,00	₡131,42
ago-24	59200	₡7.302.665,00	₡123,36
jul-24	60000	₡7.240.085,00	₡120,67
jun-24	57200	₡7.344.010,00	₡128,39
may-24	59600	₡7.322.435,00	₡122,86
abr-24	56000	₡6.697.730,00	₡119,60
mar-24	48400	₡6.321.160,00	₡130,60
		Costo Promedio	
		kW·h	₡124,85

Nota. Información obtenida de la página oficial de servicios en línea de la CNFL para el NISE 27940662. (<https://www.cnfl.go.cr/servicios/autogestion/consulta>)

Una vez obtenido el precio del kW·h promedio anual para el edificio Torre B, se procede a realizar la comparación de los datos de consumo eléctrico de los equipos actualmente instalados y en funcionamiento, y los que conforman el sistema propuesto (Tabla 17), tomando en consideración el 100% de la capacidad de los sistemas, en el horario diario de uso de 10 horas, 5 días, 4 semanas y 12 meses.

Tabla 17
Comparación de datos y costos demanda eléctrica

	Torre de Enfriamiento Baltimore	Chiller Trane TCAA11AT	Unidades Autocontenidas FHP	Unidades Manejadoras UCCA 3
Cantidad	1	1	24	26
Tensión (V)	213,3	213,3	213,3	213,3
Demanda (kW)	11,75	11,41	9,82	7,20
Intensidad (A)	35,36	33,4	26,6	19,50
Consumo Diario (kW·h)	117,5	114,1	2355,75	1870,88
Consumo Anual (kW·h)	28200	27384	565380,83	449010,15
Costo Promedio (kW·h)	₡124,85	₡124,85	₡124,85	₡124,85
Costo Eléctrico Anual	₡3.520.770,00	₡3.418.892,40	₡70.587.796,56	₡56.058.917,38
		Costo Anual del Sistema Instalado		₡74.108.566,56
		Costo Anual del Sistema Propuesto		₡59.477.809,78
		Ahorro Anual		₡14.630.756,78

Con la instalación de los equipos del sistema de aire acondicionado centralizado por medio de chiller con compresor magnético y unidades manejadoras hidrónicas, se logra una disminución aproximada de ₡14.630.756,78 en el pago anual por el servicio de suministro eléctrico. Es importante mencionar que el cálculo se realiza con la capacidad de los equipos al 100% y contemplando su uso continuo, por lo que el ahorro

puede ser significativamente mayor según lo expuesto en el punto 6 del Capítulo II, conforme a la relación de capacidad y tiempo al que el chiller trabaja lo cual se expone en la Tabla 18.

Tabla 18
Relación de capacidad y tiempo de trabajo para Chiller

%Tiempo-%Capacidad	Tiempo (h)	kW	Promedio kW·h	Promedio de Capacidad Total
1%-100%	10	11,75	1,175	
42%-75%	10	11,75	37,0125	
45%-50%	10	11,75	26,4375	60%
12%-25%	10	11,75	3,525	
		Total	68,15	

Al tomar los datos anteriores en consideración, el chiller trabajando 10 horas diarias a un promedio de 60% de su capacidad, se puede llegar a un monto de ¢16.007.603,00.

Es necesario mencionar que, al tratarse de un chiller con condensador enfriado por aire, no requiere el uso de una torre de enfriamiento, por lo que se anula el pago del tratamiento químico del agua del intercambiador de calor de esta, lo que representa un ahorro de ¢985.406,00 mensuales y ¢11.824.872,00 al año.


7.6.2 Costo de Inversión por la Compra de Equipos. Una de las problemáticas que se presentan, al hacer una estimación del costo de la inversión económica por la compra de equipos de aire acondicionado para un estudio de mercado o un anteproyecto, es la información de precios por parte de los proveedores, ya que esto conlleva a un trámite administrativo por parte del personal de las empresas, y no les representa

atractivo al no tratarse de una compra casi definitiva, esto incluso cuando se indican los modelos específicos al proveedor.

En el caso de la solicitud del costo de los equipos seleccionados para la implementación del sistema de aire acondicionado en Torre B de la CCSS, dado que estos son de la marca Trane, se solicitó directamente al Ing. David Jiménez Sánchez, Gerente de Cuenta para Latinoamérica de la compañía Trane, quien facilitó la cotización N.º19 DJ-02-21-2025, la cual se encuentra en el Apéndice N y se muestra en la Figura 25.

Figura 25

Cotización de Equipos Trane para la CCSS

 TRANE®		Propuesta		<i>Trane Technologies Latin America B.V. Boulevard Panamá Pacífico, Edificio 3815, Piso 4 No. 403, International Business Park, Panamá Pacífico, Panamá</i>	
Atención:	CAJA COSTARRICENSE DE SEGURO SOCIA, San José, Costa Rica, Ave Segunda, Diagonal Teatro Nacional	Fecha:	Febrero 21, 2025		
Nombre de la Obra:	Proyecto: EDIFICIO TORRE B	Referencia:	COT N°19 DJ-02-21-2025 (CCSS-TORRE B)		
Ingeniero Consultador:	Ing. Felipe Monge	FAX:			
Incoterms de Entrega:	FCA MIAMI	Término de Pago:	Cash In Advance		
<p>Tenemos el placer de ofrecerles los siguientes productos y/o servicios Trane para el proyecto arriba mencionado. Estamos a sus servicios para cualquier aclaratoria o requerimiento adicional.</p>					
Proposal Summary Report					
Item	Equipment	Model Number	Qty	Total Price in USD	
A	Performance Climate Changer	UCCA	1	24,943	
B	Ascend (TM) Air-Cooled Chiller Model	ACR	1	312,766	
Total				337,709	

Según la Propuesta N.º19 DJ-02-21-2025, el precio del chiller magnético enfriado por aire es de ₡157.602.787,00; mientras que el precio de cada manejadora de aire hidrónica es de ₡12.568.778,00 al tipo de cambio de compra del dólar estadounidense (USD) de ₡503,9 al 22 de febrero de 2025. La propuesta no incluye el costo por el

transporte de Miami a Costa Rica. La CCSS se encuentra exenta de impuestos de acuerdo con lo dispuesto en el artículo 9 de la Ley de Fortalecimiento de las Finanzas Públicas, N.º 9635, publicado en La Gaceta, Alcance 202.

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS

1. Análisis del Sistema Actual

Al realizar la evaluación de la vida útil de los equipos del sistema de aire acondicionado autocontenido con condensador enfriado por agua, proveniente de la torre de enfriamiento instalados en el edificio Torre B, y por medio de la documentación técnica y los criterios expuestos en el presente proyecto, se determina que este sistema en su totalidad tiene un tiempo en funcionamiento de aproximadamente 22 años, por lo que se evidencia la necesidad de reemplazo, debido a que ha cumplido con la vida útil promedio de entre 10 y 15 años, establecido por normativa profesional interna de la CCSS y por criterios de experiencia internacional.

El estado actual de deterioro estructural y de componentes de los equipos evidenciados en este documento, así como los precios elevados y la dificultad para la adquisición de repuestos, por la poca disponibilidad en el mercado y la decreciente importación del refrigerante R-22, y los repuestos asociados a este tipo de sistemas, hacen que el requerimiento de sustitución tenga una mayor necesidad de atención, dado que representan costos de reparación de más de ₡2.456.785,71 anuales y tiempos extensos de paro de los equipos, lo cual representa condiciones desfavorables para el desempeño de las actividades llevadas a cabo en el edificio Torre B, y una consecuente afectación en la continuidad del servicio público.

2. Análisis del Sistema Propuesto

Por medio del estudio de carga térmica y análisis psicrométrico, realizado para la selección adecuada del sistema de aire acondicionado por proponer, y con la búsqueda y análisis de información en cuanto a las opciones disponibles en el mercado, se hace la

selección del chiller enfriado por aire con compresores de cojinetes magnéticos de velocidad variable marca Trane, modelo TCAA110AT, con capacidad de hasta 120 TR (421,2 kW). El tipo de compresor utilizado en el chiller TCAA110AT es del modelo Turbocor® de Danfoss, el cual utiliza tecnología de cojinetes magnéticos sin aceite, permitiendo una elevada eficiencia, bajos niveles de ruido, y disminuye el desgaste de los elementos móviles del compresor. Los motores de imanes permanentes y los variadores de velocidad proporcionan una alta eficiencia con carga completa y parcial con un EER de 10.51, lo que representa una demanda de energía de 11,41 kW. El modelo TCAA110AT cuenta con un controlador inteligente MCX Danfoss-Schneider con pantalla táctil y conexión Ethernet compatible con BMS (Building Management System), permitiendo el monitoreo y control centralizado y remoto. Dado que el peso del chiller es de 10 600 lb (4 808,1 kg) menor al de la torre de enfriamiento colocada, su instalación en la base de concreto actual es viable.

Por medio de la revisión de especificaciones técnicas de las unidades manejadoras de aire de la marca Trane, se selecciona el modelo UCCA tamaño 3, el cual cuenta con las características descritas en la Tabla 14 y en el Apéndice K. Es importante mencionar que el espacio de instalación entre el cielorraso y la losa superior es de 1m (39,5”), por lo que es posible su instalación.

Las unidades manejadoras de aire marcan Trane modelo UCCA 3, cuentan con capacidad térmica de 36 000 BTU/h (10,53 kW) y un consumo máximo de 4,16 kW, y por sus dimensiones es viable la instalación. Cuentan con sistema de deshumidificación por medio de resistencia eléctrica, y humidificación con entrada de aire fresco y atomizador, por lo que es posible lograr la humedad relativa deseada del 55%. Para el sistema de

calidad de aire cuentan con filtros de 2" tipo MERV 8 removibles para recambio o lavado según el tipo, así como con lámparas UV para evitar la proliferación de bacterias.

La instalación de ductos principales se recomienda en material aislante de poliuretano expandido rígido, revestido en ambos lados con láminas de aluminio (tipo P3), permitiendo un menor desprendimiento de partículas y mayor facilidad de limpieza, esto tanto para el ducto de entrada de aire exterior, el suministro de aire acondicionado, como para el retorno de aire de los recintos. Para los ductos ramales se propone la instalación en tipo flexible, terminando en rejillas de distribución de acero inoxidable esmaltadas. Se requieren distribuidores que sean controlados remotamente a lo interno del recinto, por medio de dispositivos que determinen la temperatura y flujo de aire deseados, como el distribuidor de doble conducto VariTrane™.

El sistema de control centralizado de las unidades manejadoras de aire se realiza por medio del controlador Tracer™ UC210 Programmable VAV Controller, el cual es compatible con sistemas BMS. Al tener en cuenta que tanto el controlador del chiller MCX (Danfoss-Schneider) como el Tracer™ UC210 (Trane-Ingersoll Rand), es posible la implementación, en el edificio Torre B, de un sistema BMS como el EcoStruxure™ de Schneider.

Con base en el análisis de las características de los equipos y elementos descritos, se evidencia que se implementaría un sistema que satisface la necesidad de acondicionamiento de aire, para lograr condiciones adecuadas de manera eficiente, centralizada e integral.

3. Análisis Económico

La inversión total por la compra de un chiller magnético Trane TCAA110AT, y 26 unidades manejadoras de aire hidrónicas Trane UCCA 3, es de ₡484.391.015,00. Al tomar en cuenta el ahorro en la facturación por demanda eléctrica anual es de ₡16.007.603,00, y la eliminación del pago por el tratamiento de la torre de enfriamiento actual por ₡11.824.872,00 al año, lo cual suma un monto de ₡27.832.475,00, el retorno de la inversión se lograría en 17,4 años, o bien, en 18,3 años al 100% de la capacidad del chiller.

La recuperación de la inversión por la compra de los equipos se daría dentro del rango de la vida útil de estos, que está de los 15 a 20 años según el Catálogo de equipos industriales GIT-DMI-AMIEI-CT001, aplicándoles el adecuado mantenimiento preventivo y predictivo, conforme a las recomendaciones del fabricante y las normas AHRI/ASRAE.

Dentro de las consideraciones económicas, en caso de aprobarse la implementación de la propuesta, y las cuales se recomienda tomar en cuenta, se encuentran los siguientes:

- **Desinstalación de equipos**

En el mes de noviembre de 2023 se recibe, en la Subárea Taller electromecánico, por parte de la empresa SAIRE, la cotización D255-23 por la desinstalación de 10 equipos de aire acondicionado de ductos por un monto de ₡800.000,00, por lo que el costo unitario sería de ₡80.000,00. Al tener 29 equipos autocontenidos instalados en el edificio Torre B, el costo aproximado por la desinstalación de estos se estima en ₡2.320.000,00.

- **Análisis estructural**

Se realiza la consulta al Ing. Manuel Brenes Venegas, ingeniero civil de la CCSS, quien por criterio experto indica que se recomienda hacer el análisis, tanto del comportamiento de la estructura del edificio, así como de la carga puntual en la losa superior; este último se puede realizar de forma invasiva, tomando muestras del concreto y del acero, o por medio de instrumentación especializada. Este análisis, según indica el experto, tiene un costo de aproximadamente ₡5.000.000,00.

- **Mantenimiento**

Al considerar el precio unitario por el mantenimiento de los equipos de aire acondicionado, instalados por un monto de ₡20.025,00 por visita por equipo, para los modelos EM060-3HZC de 60 000 BTU/h y de ₡124.000,00 para la torre de enfriamiento (Apéndice I), lo cual se podría comparar con los costos por mantenimiento de las 26 unidades manejadoras de aire y del chiller respectivamente, el monto por cada mantenimiento se estima en ₡644.650,00 y, realizando tres mantenimientos por año, el precio aproximado es de ₡1.933.950,00.

Otros costos que pueden ser cargados al proyecto serían los de desalmacenaje y traslado de equipos, instalación y pruebas de puesta en marcha de los equipos, ingeniería (diseño y trámite ante el CFIA), y administrativos (licitación y adjudicación).

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1. Al realizar la evaluación de la vida útil de los equipos del sistema de aire acondicionado autocontenido con condensador enfriado por agua proveniente de la torre de enfriamiento, se determina la necesidad de reemplazo, debido a que su tiempo en funcionamiento es de aproximadamente 22 años, por lo que han cumplido con la vida útil promedio de entre 15 y 20 años, aunado al estado de deterioro actual de los equipos, así como los precios elevados y la dificultad para la adquisición de repuestos, por la poca disponibilidad en el mercado y la decreciente importación del refrigerante R-22 y componentes asociados a este tipo de sistemas.
2. Por medio del análisis psicrométrico de las condiciones de temperatura y humedad, las actuales de 27 °C y 78% respectivamente, junto con el cálculo minucioso de carga térmica al considerar la distribución de espacios, condiciones actuales de ocupación, cargas de calor sensible y calor latente de las zonas internas de los pisos 1 al 5 del edificio Torre B, se determinan las condiciones deseadas de 22 °C de temperatura y 55% de humedad relativa, para lo cual se requiere la instalación del sistema de aire acondicionado de agua helada con compresor magnético, con una capacidad de 109 toneladas de refrigeración.
3. La tecnología de equipos de aire acondicionado con compresores magnéticos para el enfriamiento por medio de agua helada, presenta cojinetes magnéticos sin aceite, lo que permite bajos niveles de ruido, y disminuye el desgaste de los

elementos móviles del compresor, y principalmente una elevada eficiencia en el rango de 96% al 97%, mientras que los motores de inducción tradicionales operan alrededor del 92%, con consumos a carga plena llegan hasta 0.639 kW/TR, con un valor integrado a cargas parciales (IPLV) de 0,365 kW/TR, pudiendo llegar hasta 0.28 kW/TR, lo que los hace la opción más eficiente del mercado.

4. Se justifica la inversión total por la compra del chiller magnético Trane TCAA110AT, y las unidades manejadoras de aire hidrónicas Trane UCCA 3 por el monto de ₡484.391.015,00, al considerar el ahorro en la facturación por demanda eléctrica anual de ₡16.007.603,00, y la eliminación del pago por el tratamiento de la torre de enfriamiento actual por ₡11.824.872,00 al año, obteniendo el retorno de la inversión en 17,4 años, o bien, en 18,3 años al 100% de la capacidad del chiller, lo cual se daría dentro del rango de la vida útil de los equipos de 15 para las manejadoras de aire y 20 años para el chiller.
5. Se ha demostrado que es viable la instalación del sistema de aire acondicionado con compresor magnético, que es una solución con tecnología moderna, responsabilidad ambiental y eficiencia energética, que solventa tanto la necesidad de remplazo del sistema obsoleto e ineficiente instalado en el inmueble, así como el existente requerimiento de acondicionamiento y calidad de aire del edificio Torre B, haciendo un uso eficiente de los recursos públicos, y cumpliendo los requerimientos solicitados en directrices obligatorias para la Caja Costarricense de Seguro Social.

Recomendaciones

Con base en el análisis realizado durante la elaboración del proyecto de implementación del sistema de aire acondicionado de agua helada con tecnología de compresores magnéticos en el edificio Torre B, aunado a la experiencia de campo y contratación en la instalación de sistemas de aire acondicionado, y a factores complementarios que se pueden considerar para la implementación de la propuesta, se presentan las siguientes recomendaciones:

1. Implementar la totalidad del sistema de aire acondicionado de agua helada con tecnología de compresores magnéticos con un chiller magnético Trane TCAA110AT, y 26 unidades manejadoras de aire hidrónicas Trane UCCA 3 en el edificio Torre B, considerando la proyección de crecimiento de carga térmica contemplado, con el fin de reemplazar otros equipos de aire acondicionado instalados en el inmueble según la necesidad, adicionándolos al nuevo sistema.
2. Realizar un análisis estructural de base de concreto, a la losa de piso de la azotea del edificio Torre B, para determinar si soporta el peso de las 10 600 lb (4 808,1 kg) del chiller, ya que, aunque la torre de enfriamiento instalada tiene un peso superior de aproximadamente 19 670 lb (8 922,16 kg), por las cargas dinámicas y estáticas intrínsecas en los 23 años de construcción del edificio y los constantes eventos sísmicos en el Valle Central, se recomienda este estudio.
3. En cuanto a la desinstalación de los equipos existentes, debe considerarse que estos presentan problemas estructurales y funcionales, han cumplido su vida útil y operan con refrigerante R-22. Por ello, se deberá incluir, dentro de las

especificaciones del proyecto, la exigencia de que la empresa contratada entregue certificados de desecho y disposición final ambientalmente adecuada, en cumplimiento con la Ley para la Gestión Integral de Residuos y el Decreto Ejecutivo N.º 38272-S. Como parte del puntaje que se asigna en las contrataciones a nivel público, se puede asignar puntaje por el valor de rescate de los equipos y tuberías, ya que pueden tener valor como material de reutilización (chatarra); o bien, pueden ser donados a instituciones de enseñanza, como el Tecnológico de Costa Rica.

4. Dado que los equipos propuestos en este proyecto cuentan con la facilidad y compatibilidad de conexión, monitoreo, y control centralizado por medio de sistemas de manejo de edificios BMS, se considera importante la implementación de este tipo de sistema, a la hora de presupuestar y realizar las especificaciones del proyecto una vez preaprobado.
5. El mantenimiento de los sistemas de aire acondicionado es fundamental para garantizar la calidad del aire, así como cumplir y alargar la vida útil de los equipos y componentes, por lo que es necesario contemplar, dentro de la contratación, el mantenimiento preventivo dentro del periodo de garantía, y el mantenimiento preventivo y correctivo posterior, con la periodicidad recomendada por el fabricante y por las normas ASHRAE y el Anexo B de NFPA 90A.

REFERENCIAS

- Anelair. (10 de marzo de 2021). *La climatización de oficinas también es importante para tu negocio*. <https://www.anelair.com/climatizacion-de-oficinas/>
- ANSI/ASHRAE. (2012). *ANSI/ASHRAE 180-2008 Standard practice for inspection and maintenance of commercial building HVAC systems*.
- ASHRAE. (2017). *ANSI/ASHRAE Standard 55-2017, thermal environmental conditions for human occupancy*. ASHRAE.
- ASHRAE. (2022a). *ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2022, ventilation and acceptable indoor air quality*. ASHRAE.
- ASHRAE. (2022b). *ANSI/ASHRAE Standard 90.1-2022, energy standard for buildings except low-rise residential buildings (I-P)*. ASHRAE.
- ASHRAE. (2023). *ANSI/ASHRAE Standard 55-2023, thermal environmental conditions for human occupancy*. ASHRAE.
- Cano Salcedo, S.A. (2018). *Diseño e implementación metodológica para el desarrollo de proyectos de aire acondicionado con chiller condensado por aire* [Tesis de Maestría, Universidad Autónoma del Caribe].
- Carrier, A. C. (2009). *Handbook of air conditioning system Design*. New York: McGraw-Hill.
- Carrier, W. H. (1911). Rational psychrometric formulae. *Transactions of the American Society of Mechanical Engineers*, 33, 1005-1053.

Catálogo Equipos Industriales. (agosto de 2024). *CCSS Catálogo Equipos Industriales.*

Versión 5. GIT-DMI-AMIEI-CT001

Cengel, Y. y Boles, M.A. (2009). *Termodinámica* (8a ed.). Mc Graw-Hill Education.

Código de Seguridad Humana [CSH]. (2021). *NFPA 101-ES 2021. Art. 9.2.* (Estados Unidos de América).

Comfred. (16 de enero de 2025). *Climatización centralizada: confort y eficiencia.*

<https://comfred.es/climatizacion-centralizada-confort-y-eficiencia/#:~:text=La%20climatizaci%C3%B3n%20centralizada%20se%20ha,el%20mercado%20actual%20de%20HVAC.>

Cooper, G. (1998). *Air conditioning America: engineers and the controlled environment, 1900-1960.* Johns Hopkins University Press.

Franco, P. (2022). Optimizando la eficiencia energética en chillers eléctricos. *Revista Mundo HVAC&R.* <https://www.mundohvacr.com/2022/12/optimizando-la-eficiencia-energetica-en-chillers-electricos/>

Guía de Reemplazo del Equipo Industrial. (noviembre de 2021). *7.1.6 Criterio 6: porcentaje de vida útil cumplida.* GIT-DMI-GT001.

Ingels, N. M. (1952). *Willis Haviland Carrier: father of air conditioning.* Country Life Press.

Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo. (23 de mayo de 2022). *Reglamento de construcciones. Actualización 2022. Art. 108.* (Costa Rica).

Irtesc. (21 de mayo de 2024). *¿Cuándo debo cambiar mi aire acondicionado?*

<https://irtesc.es/ayuda-y-consejos/antiguedad-aparato-aire-acondicionado/>

Linter Filtros. (2025). *¿Por qué es tan importante la circulación del aire interior?*

<https://linterfiltros.com.br/es/sistema-de-aire-acondicionado/>

McGarry, J. y Madsen, R. (2018). How can I tell the age of a FHP (Florida Heat Pump)

geothermal heat pump for the serial number? *McGarry and Madsen's.*

<https://www.howtolookatahouse.com/Blog/Entries/2018/6/how-can-i-tell-the-age->

[of-a-fhp-florida-heat-pump-geothermal-heat-pump-for-the-serial-number.html](https://www.howtolookatahouse.com/Blog/Entries/2018/6/how-can-i-tell-the-age-of-a-fhp-florida-heat-pump-geothermal-heat-pump-for-the-serial-number.html)

Meza, O. (2024a). *Tema 1: Introducción y Principios Básicos*. Universidad Central.

Meza, O. (2024b). *Tema 3: Transmisión de calor*. Universidad Central.

Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE). (26 de agosto de 2014). *Directriz N.º 011-*

MINAE.

Mitor Ingenieros. (24 de septiembre de 2022). *¿Qué es un chiller?*

<https://www.mitor.com.pe/que-es-un-chiller/>

Naciones Unidas. (2025). *Protocolo de Montreal relativo a las sustancias que agotan la*

capa de ozono. <https://ozone.unep.org/es/taxonomy/term/516>

Naranjo, I. (2012). Nueva generación de compresores centrífugos magnéticos. Revista

Mundo HVAC&R. <https://www.mundohvacr.com/2012/05/nueva-generacion-de->

[compresores-centrifugos-magneticos/](https://www.mundohvacr.com/2012/05/nueva-generacion-de-compresores-centrifugos-magneticos/)

Pita, E. (2002). *Acondicionamiento de aire, principios y sistemas*. Grupo Geo.

Reglamento a la Ley N.º 8228 [Ministerio de la Presidencia]. (07 de marzo de 2023). *Del Benemérito Cuerpo de Bomberos de Costa Rica N.º 37615-MP. Art.66. (Costa Rica).*

Reynolds, J. S. (2002). *Heating and cooling of buildings: design for efficiency.* John Wiley & Sons.

Torres Acosta, J.H., Gaona García, E.E. y Medina García, V.H. (2016). *Estructura de una propuesta de investigación en Ingeniería.* Universidad Distrital Francisco de Caldas.

United Nations Environment Programme (UNEP). (2016). *The Kigali amendment to the Montreal protocol: HFC phase-down.* UNEP.

APÉNDICES

Apéndice A. Coeficiente Global de Transferencia de Calor para Paredes

Tabla A1

CONDUCCIÓN A TRAVÉS DE LA ESTRUCTURA EXTERIOR

139

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

Grupo No.	Descripción de la construcción	Peso, lb/ft ²	Valor de U, BTU/(h-ft ² -°F)	Capacidad calorífica, BTU/(ft ² -°F)
Ladrillo de vista de 4 in + (Ladrillo)				
	C Espacio de aire + ladrillo de vista de 3 in	83	0.358	18.3
	D Ladrillo común de 4 in	90	0.415	18.4
	C Aislamiento de 1 in o espacio de aire + ladrillo común de 4 in	90	0.174-0.301	18.4
	B Aislamiento de 2 in + ladrillo común de 4 in	88	0.111	18.5
	B Ladrillo común de 8 in	130	0.302	26.4
	A Aislamiento o espacio de aire + ladrillo común de 8 in	130	0.154-0.243	26.4
Ladrillo de vista de 4 in + (Concreto pesado)				
	C Espacio de aire + concreto de 2 in	94	0.350	19.7
	B Aislamiento de 2 in + concreto de 4 in	97	0.116	19.8
	A Espacio de aire o aislamiento + concreto de 8 in o más	143-190	0.110-0.112	29.1-38.4
Ladrillo de vista de 4 in + (bloque de concreto ligero o pesado)				
	E Bloque de 4 in	62	0.319	12.9
	D Espacio de aire o aislamiento + bloque de 4 in	62	0.153-0.246	12.9
	D Bloque de 8 in	70	0.274	15.1
	C Espacio de aire o aislamiento de 1 in + bloque de 6 u 8 in	73-89	0.221-0.275	15.5-18.5
	B Aislamiento de 2 in + bloque de 8 in	89	0.096-0.107	15.5-18.6
Ladrillo de vista de 4 in + (azulejo de barro)				
	D Azulejo de 4 in	71	0.381	15.1
	D Espacio de aire + azulejo de 4 in	71	0.281	15.1
	C Aislamiento + azulejo de 4 in	71	0.169	15.1
	C Azulejo de 8 in	96	0.275	19.7
	B Espacio de aire o aislamiento de 1 in + azulejo de 8 in	96	0.142-0.221	19.7
	A Aislamiento de 2 in + azulejo de 8 in	97	0.097	19.8
Pared de concreto pesado + (acabado)				
	E Concreto de 4 in	63	0.585	12.5
	D Concreto de 4 in + aislamiento de 1 o 2 in	63	0.119-0.200	12.5
	C Aislamiento de 2 in + concreto de 4 in	63	0.119	12.7
	C Concreto de 8 in	109	0.490	21.9
	B concreto de 8 in + aislamiento de 1 o 2 in	110	0.115-0.187	22.0
	A Aislamiento de 2 in + concreto de 8 in	110	0.115	21.9
	E Concreto de 12 in	156	0.421	31.2
	A Concreto de 12 in + aislamiento	156	0.113	31.3
Bloque de concreto ligero y pesado + (acabado)				
	F Bloque de 4 in + espacio de aire o aislamiento	29-36	0.161-0.263	5.7-7.2
	E Aislamiento de 2 in + bloque de 4 in	29-37	0.105-0.114	5.8-7.3
	E Bloque de 8 in	41-57	0.294-0.402	6.3-11.3
	D Concreto de 8 in + espacio de aire o aislamiento	41-57	0.149-0.173	8.3-11.3
Azulejo de barro + (acabado)				
	F Azulejo de 4 in	39	0.419	7.8
	F Azulejo de 4 in + espacio de aire	39	0.303	7.8
	E Azulejo de 4 in + aislamiento de 1 in	39	0.175	7.9
	D Aislamiento de 2 in + azulejo de 4 in	40	0.110	7.9
	D Azulejo de 8 in	63	0.296	12.5
	C Azulejo de 8 in + espacio de aire o aislamiento de 1 in	63	0.151-0.231	12.6
	B Aislamiento de 2 in + azulejo de 8 in	63	0.099	12.6
Pared de lámina (cortina metálica)				
	G Con o sin espacio de aire + 1, 2 o 3 in de aislamiento	5-6	0.091-0.230	5.7
Pared de bastidor				
	G Aislamiento de 1 a 3 in	16	0.081-0.178	5.1

Reproducido con permiso de 1985 Fundamentals ASHRAE Handbook & Product Directory

Apéndice B. Factor de radiación solar

Tabla B1

TABLA 6.6 RADIACIÓN SOLAR A TRAVÉS DE VIDRIO FACTORES DE GANANCIA MÁXIMA DE CALOR SOLAR PARA VIDRIO. BTU/H - FT², LATITUDES NORTE.

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

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

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

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

Tabla B2 Factor de radiación solar (continuación)

Tabla 6.6 (Continuación)

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

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

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

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

Apéndice C. Coeficiente de Sombreado para Vidrio

Tabla C1

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

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

Apéndice D. Factor de Carga de Enfriamiento para Vidrio

Tabla D1

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

Estad. norte. Ventana viendo hacia el	Construc- ción 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
E	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
T	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
V	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
N	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
RA	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
RA	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
RA	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	0.09	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
	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
RA	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	0.15	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	0.15
RA	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

- = construcción ligera: Pared exterior de bastidores, losa de piso de concreto de 2 in, con aprox. 30 lb de material/ft² de piso.
- = 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.
- = 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.

IEM 7 ITSM

Apéndice E. Ganancia de Calor Debido a los Ocupantes del Recinto

Tabla E1

Tabla E1.1. 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
Estadado en reposo	Teatro, cine	115	400	100	100	350	90	60	210	55	40	140	30
Estadado, trabajo muy ligero, escritura	Oficinas, hoteles, apartamentos	140	480	120	120	420	105	65	230	55	55	190	50
Estadado, comiendo	Restaurante	150	520	130	170	580 ^c	145	75	255	60	95	325	80
Estadado, trabajo ligero, mecanografía	Oficinas, hoteles, apartamentos	185	640	160	150	510	130	75	255	60	75	255	65
Estadado, trabajo ligero o camina despacio	Tiendas minoristas, bancos	235	800	200	185	640	160	90	315	80	95	325	80
Estadado, trabajo ligero de banco	Fábricas	255	880	220	230	780	195	100	345	90	130	435	110
Estadado caminando 3 mph trabajo ligero	Fábricas	305	1040	260	305	1040	260	100	345	90	205	695	170
Estadado, trabajo con máquinas pesadas	Fábricas	350	1200	300	280	960	240	100	345	90	180	615	150
Estadado, trabajo moderado	Salón de baile	400	1360	340	375	1280	320	120	405	100	255	875	220
Estadado, trabajo con máquinas pesadas, levantar pesas	Fábricas	470	1600	400	470	1600	400	165	565	140	300	1035	260
Estadado, 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 restaurante, 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) producido con permiso del 1985 *Fundamentals*. ASHRAE Handbook & Product Directory.

Apéndice F. Pérdidas de Calor por Infiltración y Ventilación

PÉRDIDAS DE CALOR POR INFILTRACIÓN Y VENTILACIÓN

59

infiltraciones es aceptable, entonces se puede ignorar el efecto de la pérdida de calor latente.

Las ecuaciones 3.10 y 3.11 se resuelven en el capítulo 7. Las relaciones de humedad (W') para la ecuación 3.11, se pueden encontrar en la carta psicrométrica, y también se presentan en el capítulo 7.

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

Método de las fisuras. Este método supone que se puede medir o establecer una tasa de infiltración del aire con exactitud, por pie de fisura. Los reglamentos energéticos tienen una lista de velocidades máximas permisibles de infiltración para construcciones nuevas o remodelaciones. La tabla 3.3 es una lista de tasas típicas de infiltración en los reglamentos de energía, basadas en un viento de 25 MPH.

TABLA 3.3. TASAS MÁXIMAS RECOMENDADAS DE INFILTRACIÓN PARA DISEÑO A TRAVÉS DE VENTANAS Y PUERTAS EXTERIORES

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

Las longitudes y áreas de las fisuras se deben determinar mediante los planos de la construcción, o mediante mediciones de campo. El ejemplo 3.11 ilustra el uso de la tabla 3.3 y la ecuación 3.10 para calcular la pérdida por infiltración.

EJEMPLO 3.11

La puerta principal de una casa debe llevar pegada una cinta aislante para cumplir con las normas recomendadas de conservación de energía. La puerta mide 7 ft de alto x 3 ft de ancho. Las temperaturas interior y exterior son de 70 y 10°F. ¿Cuál es la pérdida de calor sensible debida a la infiltración?

Solución. Vemos en la tabla 3.3 que la tasa de infiltración después de considerar los datos es de 1.0 CFM por pie de fisura. La longitud de la fisura es $2(7) + 2(3) = 20$ ft (fig. 3.9). La tasa total de infiltración por los extremos es de 1.0 CFM/ft x 20 ft = 20 CFM. Con la ecuación 3.10 se calcula la pérdida de calor por infiltración, que es

$$\begin{aligned} Q_i &= 1.1 \times \text{CFM} \times \text{DT} \\ &= 1.1 \times 20 \times (70 - 10) \\ &= 1\,200 \text{ BTU/h} \end{aligned}$$

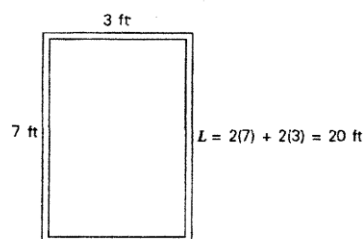


Figura 3.9. Esquema para el ejemplo 3.11.

La calidad de la instalación y el mantenimiento de las ventanas y puertas afecta mucho a la infiltración por fisuras resultante. Las ventanas mal ajustadas pueden tener fugas en el marco hasta cinco veces mayores a las que aparecen en la tabla 3.3.

Infiltración en los recintos en ángulo. Cuando se calcula la tasa de infiltración para un recinto con dos paredes expuestas adyacentes (recinto en ángulo), con puertas y ventanas en ambos lados, se supone que el aire de infiltración penetra a través de fisuras sólo por uno de los lados, ya que el viento sólo puede provenir de una dirección a un tiempo dado. Desde luego, el viento cambia de dirección, pero los efectos de la infiltración no pueden agregarse porque se presentan en momentos diferentes.

Si el viento sopla en dirección oblicua, hacia el ángulo, las longitudes de fisura proyectadas para cada lado son menores; el efecto general es el mismo que si el viento proviniera solamente de un lado (empleando su longitud real de fisura). Si hay

Apéndice G. Características Torre de Enfriamiento PFI-1012N-4D1DS-M1

PFI Closed Circuit Cooling Tower										Closed Circuit Cooling Towers									
PFI Engineering Data										XE Model Data									
Model Number	Height (ft)	Fan HP	Model Number	Height (ft)	Fan HP	Model Number	Height (ft)	Fan HP	Model Number	Height (ft)	Fan HP	Model Number	Height (ft)	Fan HP	Model Number	Height (ft)	Fan HP		
PFI 1012N 3000 G1	18	3	PFI 1012N 3000 G2	18	3	PFI 1012N 3000 G3	18	3	PFI 1012N 3000 G4	18	3	PFI 1012N 3000 G5	18	3	PFI 1012N 3000 G6	18	3		

852 FOR THE MOST UP TO DATE INFORMATION, VISIT WWW.BALTIMOREAIRCOIL.COM/PFI

NOTE: For notes, see page 854.

PRODUCT & APPLICATION HANDBOOK VOLUME VI 853


PFI Closed Circuit Cooling Tower										Closed Circuit Cooling Towers																																													
PFI Engineering Data										XE Model Data																																													
										<table border="1"> <thead> <tr> <th>Model Number</th> <th>Height (ft)</th> <th>Fan HP</th> <th>Model Number</th> <th>Height (ft)</th> <th>Fan HP</th> <th>Model Number</th> <th>Height (ft)</th> <th>Fan HP</th> <th>Model Number</th> <th>Height (ft)</th> <th>Fan HP</th> <th>Model Number</th> <th>Height (ft)</th> <th>Fan HP</th> <th>Model Number</th> <th>Height (ft)</th> <th>Fan HP</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PFI 1012N 3000 G1</td> <td>18</td> <td>3</td> <td>PFI 1012N 3000 G2</td> <td>18</td> <td>3</td> <td>PFI 1012N 3000 G3</td> <td>18</td> <td>3</td> <td>PFI 1012N 3000 G4</td> <td>18</td> <td>3</td> <td>PFI 1012N 3000 G5</td> <td>18</td> <td>3</td> <td>PFI 1012N 3000 G6</td> <td>18</td> <td>3</td> </tr> <!-- Additional rows would follow the same pattern --> </tbody> </table>										Model Number	Height (ft)	Fan HP	Model Number	Height (ft)	Fan HP	Model Number	Height (ft)	Fan HP	Model Number	Height (ft)	Fan HP	Model Number	Height (ft)	Fan HP	Model Number	Height (ft)	Fan HP	PFI 1012N 3000 G1	18	3	PFI 1012N 3000 G2	18	3	PFI 1012N 3000 G3	18	3	PFI 1012N 3000 G4	18	3	PFI 1012N 3000 G5	18	3	PFI 1012N 3000 G6	18	3
Model Number	Height (ft)	Fan HP	Model Number	Height (ft)	Fan HP	Model Number	Height (ft)	Fan HP	Model Number	Height (ft)	Fan HP	Model Number	Height (ft)	Fan HP	Model Number	Height (ft)	Fan HP																																						
PFI 1012N 3000 G1	18	3	PFI 1012N 3000 G2	18	3	PFI 1012N 3000 G3	18	3	PFI 1012N 3000 G4	18	3	PFI 1012N 3000 G5	18	3	PFI 1012N 3000 G6	18	3																																						
<p>NOTES:</p> <ol style="list-style-type: none"> Nominal flow of cooling represents 1 USGPM of water cooled from 95°F to 85°F at a 7°F entering wet-bulb temperature. CFM listed is for the highest fan motor HP and vary with the fan HP. Operating weight is for the unit with the water level in the cold water basin at the overflow. The actual size of the coil inlet and outlet connection may vary with the design flow rate. Consult unit plate for dimensions. Coil inlet and outlet connections are beveled for welding. Models with Whisper Quiet Fans may have heights up to 5 1/2" greater than shown. Standard make-up, drain and overflow connections are located near the bottom of the unit. Make-up connection is 1/2" NPT standpipe, drain is 2" FPT, and overflow is 3" FPT. Standard make-up, drain, and overflow connections are MPT. <p>Do not use for construction. Refer to factory certified dimensions. This catalog includes data current at the time of publication, which should be reconfirmed at the time of purchase. Up-to-date engineering data, free product selection software, and more can be found at BaltimoreAircoil.com.</p>										<p>858 FOR THE MOST UP TO DATE INFORMATION, VISIT WWW.BALTIMOREAIRCOIL.COM/PFI</p> <p>PRODUCT & APPLICATION HANDBOOK VOLUME VI 858</p>																																													

Fuente:

https://www.calameo.com/read/007362127e238dede03512authid=Jl2f6CndVce& q1=1*ulxrtm* qa*MTawNiu40t3NC4xNz14MzQ0MzEwZw* qa 2MZEw9FRHT*MTczOTExOD

Y5Ni4zLiEuMTczOTExODTg3Mi40Ni4wLjA

Apéndice H. Cotización Tratamiento Químico Torre de Enfriamiento Torre B

	V y P Asesores Sociedad Anónima San José: 4080-8448 Liberia: 4080-8099 Whatsapp: 65177555 Céd. Jurídica: 3-101-096480 Correo: infovyp@vypasesores.com	Cotización														
		<table border="1"> <tr> <th>FECHA</th> <th>No.#</th> </tr> <tr> <td>04/02/2025</td> <td>MPR00102</td> </tr> </table>	FECHA	No.#	04/02/2025	MPR00102										
FECHA	No.#															
04/02/2025	MPR00102															
<table border="1"> <tr> <th>CLIENTE</th> <th>DIRECCIÓN</th> </tr> <tr> <td>Caja Costarricense de Seguro Social. Cédula: 4000042147</td> <td>PROVINCIA: San José CANTÓN: San José</td> </tr> </table>		CLIENTE	DIRECCIÓN	Caja Costarricense de Seguro Social. Cédula: 4000042147	PROVINCIA: San José CANTÓN: San José											
CLIENTE	DIRECCIÓN															
Caja Costarricense de Seguro Social. Cédula: 4000042147	PROVINCIA: San José CANTÓN: San José															
<table border="1"> <thead> <tr> <th>ITEM</th> <th>DESCRIPCIÓN</th> <th>CANTIDAD</th> <th>PRECIO UNIT.</th> <th>TOTAL</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>OSS0012</td> <td>SERVICIO DE ASESORIA Y MANTENIMIENTO, Servicio de tratamiento químico de agua mensual para la Torre de Enfriamiento de 150 Ton perteneciente al sistema de aire acondicionado del edificio Torre B de la CCSS ubicado en barrio Don Bosco, San José.</td> <td>3.00</td> <td>¢985,406.00</td> <td>¢2,956,218.00</td> </tr> </tbody> </table>	ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	TOTAL	OSS0012	SERVICIO DE ASESORIA Y MANTENIMIENTO, Servicio de tratamiento químico de agua mensual para la Torre de Enfriamiento de 150 Ton perteneciente al sistema de aire acondicionado del edificio Torre B de la CCSS ubicado en barrio Don Bosco, San José.	3.00	¢985,406.00	¢2,956,218.00						
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	TOTAL												
OSS0012	SERVICIO DE ASESORIA Y MANTENIMIENTO, Servicio de tratamiento químico de agua mensual para la Torre de Enfriamiento de 150 Ton perteneciente al sistema de aire acondicionado del edificio Torre B de la CCSS ubicado en barrio Don Bosco, San José.	3.00	¢985,406.00	¢2,956,218.00												
<p>Observaciones:</p> <p>NOTAS, TÉRMINOS Y CONDICIONES:</p> <p>Forma de pago: Orden de compra requerida. Pago por mes de servicio a cancelar un total de ¢ 985 406 por mes. Tiempo de entrega: 2 visitas/ mes de Ingeniero, y visitas semanales del técnico. Lugar de entrega: Torre B de CCSS, Barrio Don Bosco, san José. Validez de la oferta: 60 días Otras condiciones: Alcances delimitados en oferta de servicio. En caso de ser necesario realizar una dosificación de choque en en los sistemas, se debe cotizar por separado. En caso de ser necesario realizar una visita adicional del ingeniero de servicio, se debe cotizar por separado. Los costos por daños a los equipos en préstamo no imputable a VYP y no cubiertos por la garantía, serán asumidos en su totalidad por el cliente.</p>																
<p>La presente cotización tiene una validez de 16 días naturales. Fecha de entrega a partir de generación de orden de compra según validación de inventario disponible.</p> <p>Para transferencias bancarias sírvase utilizar las siguientes cuentas: BAC Colones: CR55010200009001804493 BAC Dólares: CR91010200009007382121 BANCO NACIONAL Colones CR58015108010010031858 BANCO NACIONAL Dólares CR24015108010026013414</p>			<table border="1"> <tr> <td>Total Mercadería:</td> <td>¢2,956,218.00</td> </tr> <tr> <td>Descuento 0.00%:</td> <td>¢0.00</td> </tr> <tr> <td>Impuesto IVA:</td> <td>¢0.00</td> </tr> <tr> <td>Subtotal:</td> <td>¢2,956,218.00</td> </tr> <tr> <td>Flete:</td> <td>¢0.00</td> </tr> <tr> <td>Total General:</td> <td>¢2,956,218.00</td> </tr> </table>		Total Mercadería:	¢2,956,218.00	Descuento 0.00%:	¢0.00	Impuesto IVA:	¢0.00	Subtotal:	¢2,956,218.00	Flete:	¢0.00	Total General:	¢2,956,218.00
Total Mercadería:	¢2,956,218.00															
Descuento 0.00%:	¢0.00															
Impuesto IVA:	¢0.00															
Subtotal:	¢2,956,218.00															
Flete:	¢0.00															
Total General:	¢2,956,218.00															

Apéndice I. Factura por el mantenimiento de los equipos de aire acondicionado de Torre B



Saire
Servicio de Aire y Refrigeración LTDA

Actividad económica
453006

SAIRE SERVICIOS DE AIRE Y REFRIGERACION LIMITADA
SAIRE, SERVICIOS DE AIRE Y REFRIGERACION LIMITADA

Ident. Jurídica: 3-102-093302
Correo: factura@sairecr.com
Teléfono: +(506) 4119-6600
Fax: +(0) 0
Dirección: Heredia, Belén, La Asuncion, LA ASUNCION centro, De Epa Belén, 300 mts Oeste, 300 mts Norte, 125 mts Este y 125 mts Sur, Bodega #

Factura Electrónica N°

00100001010000006327

Clave Numérica

50625092400310209330200100001010000006327170955773

Fecha de emisión 25/09/2024 11:13:06AM

Condición de Venta Crédito

Plazo del crédito 30

Medio de Pago Transferencia-Depósito Bancario

Cliente: CCSS CAJA COSTARRICENSE DEL SEGURO SOCIAL

Correo: jrangelc@ccss.sa.cr

Provincia: San José Cantón: San José

Dirección: San José, San José, Costa Rica.

Ident. Jurídica: 4-000-042147

Teléfono: +(506)2539-0000

Distrito: Carmen

Barrio:

Código / Cód. Cabys	Unidad	Cantidad	Precio	Descripción	Descuento	Subtotal	Impuesto
CO1 5463200000000	St	1.00	124,600.00	Servicio de mantenimiento preventivo, correctivo y atención de reparaciones de emergencia de la torre de enfriamiento del edificio Torre B	0.00	124,600.00	0.00
CO1 5463200000000	St	24.00	20,025.00	Servicio de mantenimiento preventivo, de emergencia de las manejadoras de aire acondicionado tipo paquete hidrónicas de 60000 BTU/H, marca Florida Heat Pump, modelo EM060-3H2C del edificio Torre B	0.00	480,600.00	0.00
CO1 5463200000000	St	5.00	27,812.50	Servicio de mantenimiento y reparaciones de emergencia de las manejadoras de aire acondicionado tipo paquete hidrónicas de 24000 BTU/H, marca Florida Heat Pump, modelo EM024-H2C del edificio Torre B	0.00	139,062.50	0.00

Autorizado mediante la resolución DGT-R-033-2019 del veinte de junio de dos mil diecinueve de la Dirección General de Tributación.

Generada por GTI, www.facturaelectronica.cr

Versión del Documento Electrónico: 4.3



Apéndice J. Chiller enfriado por aire con compresores de cojinetes magnéticos modelo TCAA110AT

Trane® Oil-free Centrifugal Air-cooled Chiller



Model TACA – 60-440 tons

Quiet and efficient, TACA is Trane's leading air-cooled centrifugal chiller for situations where sound performance and operating cost share equal importance. Premium energy efficiency is its primary advantage. The list goes on to include superior reliability and long-term sustainability.

- Compressors use magnetic bearing levitation technology that replaces oil lubrication, which virtually eliminates friction that creates noise and inefficiency. It reduces maintenance downtime, too.
- The optional refrigerant pump protects both occupant comfort and operating budgets by delivering proper compressor motor cooling and ultra-high efficiency at low lift operation.
- Variable speed fans optimize efficiency and reduce sound

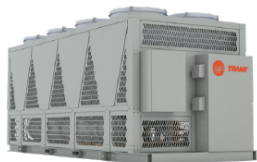
Premium energy efficiency

The mag-bearing compressor delivers water-cooled efficiency from an air-cooled chiller.

- The optional refrigerant pump ensures proper compressor motor cooling during low lift operation, down to a 1.1 pressure ratio.
- Full load efficiency exceeds ASHRAE® 90.1 and state energy efficiency requirements.

Lower operating costs

- Made to last for years, Trane TACA helps reduce lifecycle operating costs by reducing both utility costs and maintenance expenses year after year.
- Optional free cooling saves energy and money by relying on lower ambient temperatures instead of the compressor during cooler weather.
- The oil-free compressor reduces maintenance costs by eliminating the complexity and service requirements of an oil management system.
- Adaptive Controller with open standard protocols enables remote monitoring by Trane to help preemptively alert of potential costly failures and identify money-saving optimization opportunities.



Next-Generation Refrigerant

The TACA chillers with R-513A are designed to lower environmental impact by using next-generation, low global warming potential (GWP) refrigerants without compromising performance and reliability.

Lower environmental impact

Superior energy efficiency supports sustainability goals by reducing indirect greenhouse gas emissions. Optional integral free cooling delivers optimal performance using low outdoor air temperatures. TACA is oil-free, which eliminates direct fossil fuel energy use. Plus, the chiller uses next-gen refrigerant alternatives, including R-513a.

Built to Provide Years of Reliable Operation

Trane TACA chiller

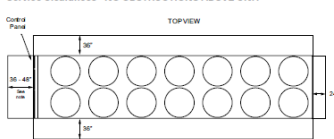
- Rapid restart restores cooling quickly following power loss
- The adaptive controller monitors performance to spot opportunities to optimize, so the chiller runs even better over time
- Up to four independent refrigerant circuits create redundancy
- Anti-corrosion, protective coating on coils, cabinet and frame extends longevity
- Hall guards protect coil against damaging weather
- Isolation valves on serviceable parts simplify maintenance

General Data

Size	Full Load EER	IPLV EER	Fan Total	Operating Weight (lb)	Length (in)	Width (in)	Height (in)	Water Connection (in)
60 Ton	6	6.650	174	94	104	6		
90 Ton	6	6.650	174	94	104	6		
110 Ton	6	6.650	174	94	104	6		
150 Ton	8	13600	224	94	104	6		
166 Ton	10	16600	274	94	104	6		
200 Ton	10	16600	274	94	104	6		
220 Ton	12	18100	324	94	104	6		
240 Ton	12	18300	300	96	111	8		
330 Ton	18	24000	467	96	111	8		
440 Ton	20	31600	646	96	112	8		

Weight and dimension can change depending on options selected
Water connection sizes can change depending on evaporator pass arrangement selected
Voltage available on certain models: 380, 400, 460, and 575

Service Clearances - NO OBSTRUCTIONS ABOVE UNIT



Learn more at trane.com



Trane – by Trane Technologies (NYSE: TT), a global climate innovator – creates comfortable, energy efficient indoor environments through a broad portfolio of heating, ventilating and air conditioning systems and controls, services, parts and supply. For more information, please visit trane.com or trane technologies.com.

All trademarks referenced in this document are the trademarks of their respective owners.

© 2022 Trane. All Rights Reserved.
ARTO-5L802P-EN
07/14/2022



Air-Cooled Magnetic Bearing Chiller

Model TCAA

Cutting-edge energy efficiency makes this a stand-out chiller for data centers, health care, K-12 schools and higher education.



Premium efficiency. The mag-bearing compressor delivers water-cooled efficiency from an air-cooled chiller. The refrigerant pump option ensures proper compressor motor cooling during low lift operation, down to a 1.1 pressure ratio. Full load efficiency far exceeds ASHRAE 90.1 and state energy efficiency requirements.

Lower operating cost. The oil-free compressor reduces maintenance costs by eliminating the complexity and service requirements of the oil management system. Plus, the Adaptive Controller with open standard protocols enables remote monitoring by Trane to help ward off costly failures and identify money-saving optimization opportunities.

Noteworthy

- Compressors use magnetic bearing levitation which virtually eliminates friction, a leading cause of noise, inefficiency and equipment wear
- The adaptive controller monitors energy performance to spot opportunities to optimize—so it keeps getting better
- Designed to use refrigerant alternatives, including R-513a, that reduce carbon emissions today—and in the future

Specifications

Capacity Range: 60 to 440 tons

Refrigerant: R-513A

Compressor Design: Oil free magnetic bearing centrifugal compressor

Controls: Adaptive Logic Controller with 15-in. touchscreen

Factory-installed Optional Features: Harmonic filter, split systems compatibility

Energy Efficiency Rating (EER):

- EER 10.51-20.01
- IPLV 20.21-25.72

Apéndice K. Unidad Manejadora de Aire Trane UCCA 3



Air Handler Model UCCA

Unit Overview - UCCAG03A1G0R101300000DD8C3BA4AC0A200BD0

Application	Unit size	Supply Fan		External Dimensions (in.)			Weight		Elevation
		Airflow	Total Static Pressure	Height	Width	Length	Installed	Rigging	
Outdoor unit	3	1500 cfm	3.431 in H2O	31.800 in	34.000 in	135.300 in	1279.9 lb	1135.6 lb	3200.00 ft

Unit Features

Panel	2 in. Foam injected R-13
Panel Material	Galvanized
Configuration	Horizontal DDP fan with front top discharge
Roof Curb Type	Standard roof curb
Outdoor Unit Options	Factory curb, pipe cabinet, standard paint
Coil, Drain and Motor size	Polymer Drainpan, RH Coil & Drain Conn., / RH Motor & Drive Location

Unit Electrical

Unit Voltage	Supply Motor(s) = HV = CONT
Unit Voltage 200-208/60/3	FLA 15.70 A
	MCA 19.50 A
	Max fuse size 30.00 A

Controls

Controller Type	UC500
Control Options 1	Low limit sw, condensate overflow sw, dirty filter sw and fan status sw
Control Options 2	Discharge air sensor
Control Options 3	Outside air temperature and duct static press sensor, fact-provided, ships loose

Acoustics

Sound Path	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
Casing	80 dB	83 dB	71 dB	72 dB	72 dB	59 dB	54 dB	57 dB
Ducted Discharge	76 dB	80 dB	73 dB	75 dB	75 dB	73 dB	68 dB	67 dB
Ducted Inlet	85 dB	89 dB	87 dB	86 dB	86 dB	89 dB	87 dB	80 dB
Inlet+Casing	76 dB	71 dB	63 dB	70 dB	62 dB	53 dB	51 dB	43 dB

Note: Sound Power Data are AHRI 260 Compliant.

Air Mixing Section

Face	Type	Openings		
		Airflow	Hood	Yes
Back damper or opening	Damper w/ hood	1500 cfm	Yes	Yes
Bottom damper or opening	Damper	1500 cfm	Yes	Yes

Filter

Type	Flat
MerV Rating	2" MERV 5
20 in. x 25 in. Quantity	1
Pressure Drop	1.310 in H2O
Condition	Mid-life
Airflow	1500 cfm



Cooling Coil Section

Coil Construction and Options	Coil Performance
Main Coil System Type	Hydronic
Rows/Fins Spacing	4 row hydronic coil with 12 fins per inch
Tube Diameter	1/2 in. tube diameter (12.7mm)
Coil Options	Aluminum fins, galvanized coil casing, 1/2" coils
Rigging Weight	44.0 lb
Installed Weight	59.4 lb
	Capacity
	Total Capacity 56.26 Mbt
	Sensible Capacity 36.90 Mbt
	Flow Rate
	Flow Rate 13.05 gpm
	Entering Temp 42.00 F
	Leaving Temp 50.59 F
	Pressure Drop 3.26 ft H2O
	Tube Velocity 3.20 ft/s
	Reynolds Number 8799.76
	Type Water
	Volume 1.50 gal
	AHRI Classification
	Classification AHRI ACHC Certified

Supply Fan Section

Fan Data	Motor Data
Fan Type	Horizontal DDP fan with front top discharge
Fan Quantity	1.00 Each
Fan Performance	
Airflow	1500 cfm
Total Static Pressure	3.431 in H2O
Total Brake Power / Fan	1.562 hp
Operating Speed	3576 rpm
AMCA FEG	85.00
Motor Interface	
Type	VFD
Voltage	208.0 V
VFD Frequency/DDP Fan Speed	62Hz / 3565 RPM
	Power / Fan 3 horsepower motor per fan (supply)
	Voltage 208.0 V
	Fan electrical power (FEP) 1.45 kW
	Wire to air static efficiency 40.34 %
	Fan Discharge
	Airflow 1500 cfm
	Face Velocity 1509 ft/min



Note: Certified by the AHRI Central Station Air-Handling Unit (AHU) Certification Program, based on AHRI Standard 400/421. AHRI certified units are subject to rigorous and continuous testing, have performance data independently measured and are third party verified. Certified units may be found in the AHRI Directory at www.ahridirectory.org



Static Pressure Section

Filter/Mixing Air Pressure Drop	1.310 in H2O
Cooling Coil Pressure Drop	0.550 in H2O
External Static Pressure	1.500 in H2O
Discharge Pressure Drop	0.071 in H2O
Supply Fan Total Static Pressure	3.431 in H2O

AHRI Certification

Data generation date 2/21/2025
Trane Select Assist update number 2520.

Coil Note: Certified in accordance with the AHRI Filter-Cased Air-Conditioning and Air-Heating Units Certification Program which is based on AHRI Standard 410 within the Range of Standard Rating Conditions listed in Table 1 of the Standard. Certified units may be found in the AHRI Directory at www.ahridirectory.org



Apéndice L. Controlador Trane UCCA 3

Tracer™ UC210 Programmable VAV Controller



The Tracer UC210 is optimized for VAV applications and can be factory or field-installed.

VAV applications include:

- Space temperature control
- Flow tracking
- Ventilation flow control

Ordering Numbers

Order Number	Description
BMUC210AAA0T00011	UC210 Programmable VAV Controller with Trane actuator
BMUC210AAA0B00011	UC210 Programmable VAV Controller with Belimo actuator
BMUC210AAA0100011	UC210 Programmable VAV Controller with no actuator

Features and Benefits

Features	Benefits
BACnet MS/TP	An open standard building automation communications protocol, which enables connections to other BAS systems and controllers
Configurable and fully programmable	<ul style="list-style-type: none"> • VAV programs available through quick configuration for lowest setup time • Programmable for flexibility to meet unique sequence or hardware needs
Total of 14 built-in I/O points	Meets the needs of most VAV applications with extra built-in I/Os available to network, or additional programming on controller
Expandable to 22 points	Flexibility to meet additional equipment needs

<p>Analog Inputs 1 through 3</p> <p>Note: Configuration options when used as spare; 10kΩ thermistor, 0 to 1kΩ linear setpoint, 200Ω to 20kΩ linear.</p> <ul style="list-style-type: none"> • AI1: Space temperature; thermistor: 10kΩ @77°F (25°C) range: 32°F to 122°F (0°C to 50°C) • AI2: Space setpoint; potentiometer: 1kΩ from 50 to 90°F (10 to 32.2°C), */** (thumbwheel) functionality supported • AI3: Discharge air temperature: 10kΩ @77°F (25°C) from -40°F to 212°F (-40 to 100°C) 	<p>Universal Inputs UI1 and UI2</p> <p>Note: Configuration options when used as spare; 4-20mA, 0-10V, resistive (see AI specifications), binary (solid state open collector).</p> <ul style="list-style-type: none"> • UI1: Relative Humidity • UI2: CO₂
<p>Pressure Input P1</p> <ul style="list-style-type: none"> • P1: Supply air flow; pressure transducer: From 0 to 5 in. water column (0 to 1240 Pa) 	<p>Binary Input B11, Dry Contact</p> <ul style="list-style-type: none"> • B11: Occupancy
<p>Analog Outputs AO1 and AO2</p> <p>Note: Configuration options when used as spare; Voltage output is 0 to 10 VDC, 500 ohm min. impedance. Current output is 4 - 20 mA, 500Ω max. impedance.</p> <ul style="list-style-type: none"> • AO1: ECM • AO2: SCR Heat 	<p>Binary Outputs 1 through 5</p> <p>Note: 0.5A Resistive Maximum Rating</p> <ul style="list-style-type: none"> • BO1: Heat stage 3 TRIAC • BO2: Heat stage 2/Water Valve Close TRIAC • BO3: Heat stage 1/Water Valve Open TRIAC • BO4: Air Damper Close TRIAC • BO5: Damper Open TRIAC

Apéndice M. Histórico de Consumo Edificio Torre B

Histórico de consumo kWh (últimos 12 meses) - NISE # 27940662

Histórico de consumo kWh (últimos 12 meses) - NISE # 27940662

Mes / Año	Consumo kWh	Monto (¢)
FEBRERO /2025	52400	¢6,056,455.00
ENERO /2025	46000	¢5,591,150.00
DICIEMBRE /2024	49600	¢6,236,150.00
NOVIEMBRE /2024	54400	¢6,996,795.00
OCTUBRE /2024	54800	¢7,111,530.00
SEPTIEMBRE/2024	53200	¢6,991,355.00
AGOSTO /2024	59200	¢7,302,665.00
JULIO /2024	60000	¢7,240,085.00
JUNIO /2024	57200	¢7,344,010.00
MAYO /2024	59600	¢7,322,435.00
ABRIL /2024	56000	¢6,697,730.00
MARZO /2024	48400	¢6,321,160.00

Apéndice N. Cotización N.º 19 DJ-02-21-2025 Equipos Trane



TRANE

Propuesta

Trane Technologies Latin America
 B.V. Boulevard Panamá Pacífico,
 Edificio 3815, Piso 4 No. 403,
 International Business Park, Panamá
 Pacífico, Panamá

Atención:	CAJA COSTARRICENSE DE SEGURO SOCIA, San José, Costa Rica, Ave Segunda, Diagonal Teatro Nacional	Fecha:	Febrero 21, 2025
Nombre de la Obra:	Proyecto: EDIFICIO TORRE B	Referencia:	COT/N19 DJ-02-21-2025 (CCSS-TORRE B)
Ingeniero Consultador:	Ing. Felipe Monge	FAX:	
Incoterms de Entrega:	FCA MIAMI	Término de Pago:	Cash in Advance

Tenemos el placer de ofrecerles los siguientes productos y/o servicios Trane para el proyecto arriba mencionado. Estamos a sus servicios para cualquier aclaratoria o requerimiento adicional.

Proposal Summary Report

Item	Equipment	Model Number	Qty	Total Price in USD
A	Performance Climate Changer	UCCA	1	24,943
B	Ascend (TM) Air-Cooled Chiller Model	ACR	1	312,766
Total				337,709

Performance Climate Changer (Qty 1)

Item	Tag(s)	Model Number	Qty	Unit Price in USD	Total Price in USD
A1	UMA TORRE B	UCCAG03A1G0RJ01300000DD8C3BA1AC0A200BD9	1	24,943	24,943

Product Data
 Item A1 Total Unit Quantity 1 Tag(s) UCCA-UMA TORR

Digit	Value	Category Description	Option Description	Qty	Unit Price in USD	Total Price in USD
1	UCCA	Unit model	Performance Climate Changer (UCCA)	1		
5	G	Configuration	Horizontal DDP fan with front top discharge	1		
6	03	Unit size	Unit Size 3 Square Feet of Coil	1	3,811	3,811
8	A	Unit voltage	200-208/60/3	1		
9	1	Unit type	Outdoor unit	1	4,160	4,160
10	G0	Design sequence	G0	1		
12	R	Coil, drain and motor side	Polymer Drainpan, RH Coil & Drain Conn. / RH Motor & Drive Location	1		
13	J	Unit coil # 1 type - 1st in air stream	4 row hydronic coil with 12 fins per inch	1	1,014	1,014
15	1	Coil options	Aluminum fins, galvanized coil casing, 1/2" coils	1		
16	3	Controller options	UC600 plus starter	1	5,156	5,156
17	0	Electric heat / factory mount only	No electric heat	1		
23	D	Supply motor hp - per fan	3 horsepower motor per fan (iso/vv)	1	930	930

Ascend (TM) Air-Cooled Chiller Model (Qty 1)

Item	Tag(s)	Model Number	Qty	Unit Price in USD	Total Price in USD
B1	ACR-CHILLER T	ACR150	1	312,766	312,766

Product Data
 Item B1 Total Unit Quantity 1 Tag(s) ACR-CHILLER T

Digit	Value	Category Description	Option Description	Qty	Unit Price in USD	Total Price in USD
AOPT	AOPT	Appearance Options	Architectural Louvered Panels	1	2,734	2,734
CCAC	OUT2	Electrical Accessories	20A - 115V Convenience Outlet	1	686	686
CDFM	MCHE	Condenser Fin Options	Long Life Alloy Aluminum Coil	1		
COM M	BCT2	Remote Communications Options	BACnet IP Interface	1	851	851
COND	4V	Condenser Length	4V Condenser Coil Modules	1		
CONN	WIFI	Wireless Connectivity	Wi-Fi Option	1	593	593
ERPO	DFLT	Short Circuit Current Rating	Default Short Circuit Rating	1		
EVL7	STD	Evaporator Application	Standard Cooling	1		
EVWR	C2	Evaporator Pass	Coil 2-pass	1		
FANS	ECM	Fan Type	EC Condenser Fan Motors	1		
FRFM	S950	Max Fan Speed	Fan Speed 950 RPM	1		
FSSP	35	Flow Switch Set Point	Flow Switch Set Point 35cm/sec	1		
HRIN	STD	Harmonic filter	Reactor (>30% TDD)	1		
IACC	NISO	Unit Isolation	Elastomeric Isolators	1	681	681
MODEL	ACR	Model	Air-Cooled Screw Chiller	1		
PCON	CB	Power Line Connection Type	Circuit Breaker	1	3,093	3,093
PLIN	SNGL	Incoming Unit Power Line Connection	Single Point Unit Power Connection	1		
PMTR	NONE	Power Meter	No Power Meter	1		
SERI	C	Model Series	Series "C" Model	1		
SRTY	VFD	Compressor Starter	Variable Frequency Drive (1 Compressor)	1		
TRSF	FACT	Factory Installed Transformer	Factory Installed Transformer	1		
UAPP	STD	Unit Application	Standard Ambient	1		
WCO	STD	Water Connection	Grooved Pipe Connection	1		
EUL		Agency Listing	UL Listed to U.S. and Canadian safety std via ETL - 2019	1		
AHRI		AHRI Certification	AHRI Certified	1		
ASC1		ASHRAE 90.1/CSA Compliance	ASHRAE 90.1/743 2022 Compliant	1		
513A		Factory Charge	Refrigerant Charge	1		

Total Price..... 337,709 USD

VALIDITY:
 This proposal is valid 15 days after issue -- provided equipment is released for production no later than 90 days after proposal is issued. Equipment ordered after the allowed 15 days or released for production after 90 days may be subject to escalation.

ENTREGA

El equipo será entregado FCA **FCA MIAMI**

El tiempo estimado de entrega es: **16 A 34 SEMANAS** **SUJETO A DISPONIBILIDAD**

Apéndice Ñ. Plan de Trabajo

Objetivos específicos	Desarrollo Del Proyecto	Técnicas Por Utilizar	Sujetos y Fuentes de Información
<p>Objetivo 1 Evaluar el estado actual del sistema de aire acondicionado de equipos con condensador enfriado por agua proveniente de torre de enfriamiento, para determinar la necesidad de reemplazo por medio de criterios como estado de los componentes mecánicos, vida útil de los equipos y disponibilidad de partes en el mercado.</p>	<p>Etapas: Etapa 1: Búsqueda Investigativa. Actividades: 1.1 Recopilar Información: -Normativa. -Administrativa. -Técnica. 1.2 Recabar evidencia. -Visitas sitio. - Información de proveedores -Pruebas campo.</p>	<p>1-Indagación institucional, de documentos con información del inmueble. 2-Investigación de criterios técnicos de vida útil de equipos. 3- Identificación espacial de las zonas a intervenir. 4-Visitas de campo para muestreo y recolección de información de equipos, elementos y estructuras. 5-Sondeos y mediciones a los usuarios y proveedores.</p>	<p>- ASHRAE 621989R. -ASHRAE 55. - NFPA 90A - INTE ISO 7730 - Catálogo de Equipamiento Industrial DMI-P04-C-02, CCSS. -Área Administración de Edificios, Subárea Taller Electromecánico. - Dirección de Arquitectura e Ingeniería. - Distribuidores de equipos y sistemas de aire acondicionado. - Reportes de mantenimiento preventivo y correctivo.</p>
<p>Objetivo 2 Determinar la carga térmica de las áreas de trabajo del edificio Torre B que serán climatizadas a través del análisis de la infraestructura, condiciones actuales y entorno del edificio por medio de una herramienta de cálculo con el fin de determinar el requerimiento de capacidad de enfriamiento para el sistema que será propuesto.</p>	<p>Etapas: Etapa 2: Definir los requerimientos. Actividades: 2.1 Calcular la carga térmica de las áreas a intervenir. 2.2 Determinar la capacidad de enfriamiento con los equipos instalados. 2.3 Comparación de los datos para determinar efectividad actual del sistema.</p>	<p>1. Calcular carga por medio de herramienta de Excel basada en fórmulas termodinámicas. 2. Medición de temperatura y flujo de aire en las zonas a tratar. 3. Medición de corriente y tensión de equipos instalados.</p>	<p>- E. Pita, Acondicionamiento de Aire, Principios y Sistemas. Grupo Geo, México, 2005 -ASHRAE 621989R. -ASHRAE 55. - INTE ISO 7730 - NFPA 90 A -NFPA 70</p>
<p>Objetivo 3 Analizar la tecnología de equipos de aire acondicionado con compresores magnéticos para el enfriamiento por medio de agua helada en orden del cumplimiento de los requerimientos de climatización energéticamente eficiente.</p>	<p>Etapas: Etapa 3: Caracterización de la propuesta. 3.1 Presentar las características de los sistemas de aire acondicionado por agua helada "Chillers" disponibles en el mercado nacional e internacional. 3.2 Presentar las características y ventajas de los Compresores Magnéticos</p>	<p>1. Investigación de Compañías internacionales fabricantes de sistemas de aire acondicionado con agua helada. 2. Investigación de Compañías internacionales fabricantes de Compresores magnéticos. 3. Recopilación de fichas técnicas de sistemas de aire acondicionado con agua helada con compresores magnéticos. 4. Indagación de mercado sobre empresas distribuidoras de los sistemas propuestos.</p>	<p>-Catálogos de sistemas y productos de compañías fabricantes. -Fichas técnicas de sistemas de aire acondicionado y compresores. - Distribuidores de equipos y sistemas de aire acondicionado.</p>
<p>Objetivo 4 Estimar la propuesta concreta del sistema de aire acondicionado de agua helada con compresores magnéticos, incluyendo las implicaciones económicas que conlleva el proyecto para ser presentada ante órganos decisivos a nivel institucional.</p>	<p>Etapas: Etapa 4: Propuesta concreta. 4.1 Determinar los costos aproximados por correctivos y reparaciones de los sistemas actuales. 4.2 Estimar la inversión aproximada para la implementación del sistema propuesto. 4.3 Establecer las ventajas de la instalación del sistema y equipos objeto de la investigación. 4.4 Dar a conocer las consecuencias en caso de no aprobarse la implementación del sistema propuesto.</p>	<p>1. Análisis costo-beneficio. 2. Comparación de costos. 3. Proyección de vida útil restante del sistema actual.</p>	<p>-Decreto Ejecutivo N° 35676-S-H- MAG-MINAET del 06 de agosto de 2006. Reglamento de control de las sustancias agotadoras de la capa de ozono de acuerdo con la ley 7223. -Norma INTE ISO 7730. - Dirección de Proyectos Especiales CCSS. - Área de Ingeniería y Mantenimiento de Equipo Industrial</p>